

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DEL
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE 5 NIVELES MEDIANTE EL USO DE TRES
TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS EN CHICLAYO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

RAFAEL AARON MERA HURTADO

ASESOR

CARLOS RAFAEL TAFUR JIMENEZ

<https://orcid.org/0000-0003-0119-8234>

Chiclayo, 2021

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DEL
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN EDIFICIO
MULTIFAMILIAR DE 5 NIVELES MEDIANTE EL USO
DE TRES TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS EN
CHICLAYO**

**PRESENTADA POR
RAFAEL AARON MERA HURTADO**

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza

PRESIDENTE

Ángel Alberto Lorren Palomino

SECRETARIO

Carlos Rafael Tafur Jimenez

VOCAL

DEDICATORIA

Todo lo que he logrado hasta ahora se lo dedico al esfuerzo de mi madre Cecilia Hurtado y mi abuela Mila Guerrero, las únicas dos personas que estuvieron a mi lado en todo momento. Ellas me acompañaron a superar todos los obstáculos que aparecieron en el camino, apoyándome a su manera en todo momento. El dar este nuevo paso no es solo logro mío, también es de ellas.

RESUMEN

Los sismos representan un gran peligro para la integridad de las estructuras; ya que generan grandes pérdidas a nivel económico además de en vidas humanas. Como medida de prevención, los países afectados desarrollaron tecnologías antisísmicas capaces de mitigar su efecto. Por dicha razón la presente investigación buscó evaluar la viabilidad del uso de estas tecnologías, aislamiento sísmico, en edificaciones comunes. Para el análisis se seleccionó como población las viviendas no esenciales en la ciudad de Chiclayo debido a sus condiciones de terreno desfavorables. La muestra corresponde a una vivienda típica multifamiliar de cinco niveles a la que se implementó tres de los sistemas de aislamiento más usados: HDRB, LRB y FPS. El comportamiento de cada sistema, incluyendo la edificación sin aislamiento, fue evaluado y comparado de acuerdo a las variables del comportamiento histerético, diseño estructural y presupuesto para los casos de análisis lineal como no lineal. En base a estas condiciones, el sistema HDRB presentó la respuesta más estable con periodos efectivos de $T_{sup}=3.299s$ y $T_{inf} = 1.178s$ y sin diferenciación observable en los amortiguamientos $\beta_{sup} = 24.64\%$ y $\beta_{inf} = 24.53\%$. Así como, el que impacta en menor medida en el presupuesto.

Palabras claves: Sismos, aisladores sísmicos, HDRB, LDRB, FPS

ABSTRACT

The earthquakes represents a big danger to structures integrity since they cause huge amounts of economic losses and casualties. As prevention measures, the affected countries developed antiseismic technologies able to mitigate its effects. For that reason, this investigation sought to evaluate the viability of using these technologies, seismic isolators, in common buildings. For the analysis, the chosen population were the multifamily buildings on Chiclayo city due its weak ground conditions. The sampling is a typical multifamily building of five floors that it was added three of the more used seismic isolation systems: HDRB, LRB and FPS. The behavior of each system, including the one non-isolated, were tested and compared following the hysteretic behavior variables, the structural design and the budget for the lineal and non-lineal analysis. As result of these conditions, the HDRB system presents the more stable response with effective periods of $T_{sup} = 3.299s$ y $T_{inf} = 1.178s$ and without observable differences between the damping values of $\beta_{sup} = 24.64\%$ y $\beta_{inf} = 24.53\%$. As well as the one that affects less the budget.

KEYWORDS: Earthquake, seismic isolators, seismic behavior, HDRB, LDRB, FPS

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
I. INTRODUCCIÓN.....	34
II. MARCO TEÓRICO	42
2.1. Antecedentes del Problema	42
2.2. Bases Teórico Científicas	45
2.2.1. Mecánica de Suelos.....	45
2.2.1.1. Ensayos de Identificación	45
2.2.1.2. Suelos Finos	52
2.2.1.3. Suelos Gruesos.....	53
2.2.2. Diseño Estructural de Edificaciones	55
2.2.2.1. Acero de Refuerzo	55
2.2.2.2. Concreto Reforzado	55
2.2.2.3. Concreto Simple.....	55
2.2.2.4. Cuantía de Acero (ρ).....	55
2.2.2.5. Cuantía de Acero Balanceada (ρ_b).....	56
2.2.2.6. Cuantía de Acero Mínima (ρ_{\min})	56
2.2.2.7. Cuantía de Acero máxima (ρ_{\max})	56
2.2.2.8. Diagrama de Interacción	57
2.2.2.9. Distancia al Eje Neutro (c).....	57
2.2.2.10. Eje Neutro	57
2.2.2.11. Elementos Estructurales.....	57
2.2.2.12. Módulo de Young (E)	58
2.2.2.13. Momento de Agrietamiento	58
2.2.2.14. Peralte Efectivo (d)	58
2.2.2.15. Rango Elástico	58
2.2.2.16. Rango Plástico	59

2.2.2.17. Fluencia.....	59
2.2.2.18. Resistencia de agrietamiento.....	59
2.2.2.19. Resistencia a la Compresión (f'_c)	59
2.2.2.20. Resistencia a la Fluencia (F_y)	60
2.2.3. Esfuerzos de Diseño	61
2.2.3.1. Compresión Simple.....	61
2.2.3.2. Cortante.....	61
2.2.3.3. Flexión Pura	61
2.2.3.4. Flexión Simple	62
2.2.3.5. Torsión Simple.....	62
2.2.3.6. Tracción Simple	62
2.2.4. Comportamiento Estático — Dinámico	63
2.2.4.1. Ley de Hooke	63
2.2.4.2. Modos de Vibración.....	64
2.2.4.3. Movimiento Armónico Simple	64
2.2.4.4. Segunda Ley de Newton	64
2.2.4.5. Sistema críticamente amortiguado	65
2.2.4.6. Sistema Sobreamortiguado	66
2.2.4.7. Sistema subamortiguado	67
2.2.5. Análisis Sísmico.....	68
2.2.5.1. Análisis Dinámico.....	68
2.2.5.2. Análisis Estático.....	68
2.2.5.3. Fuerza Cortante Basal	69
2.2.6. Peligrosidad Sísmica	70
2.2.6.1. Intensidad Sísmica	70
2.2.6.2. Magnitud Sísmica	70
2.2.6.3. Vida útil	70
2.2.6.4. Vulnerabilidad sísmica.....	70
2.2.6.5. Peligrosidad Sísmica.....	71
2.2.6.6. Riesgo sísmico	71
2.2.7. Sistema de Aislación	72
2.2.7.1. Aislador HDRB.....	74
2.2.7.2. Aislador LRB	75
2.2.7.3. Aislador Elástico Deslizante	76

2.2.7.4.	Aislador Péndulo Friccional Simple	77
2.2.8.	Comportamiento Histerético del Sistema de Aislación.....	78
2.2.8.1.	Desplazamiento Máximo (D_M)	78
2.2.8.2.	Desplazamiento Máximo Total (D_{MT})	78
2.2.8.3.	Desplazamiento por Fluencia (D_y)	78
2.2.8.4.	Factor de Modificación de Propiedades (λ)	79
2.2.8.5.	Fuerza en el Asiento de Apoyo (F_a o F_M).....	79
2.2.8.6.	Fuerza de Fluencia (F_y)	80
2.2.8.7.	Propiedades del Límite Inferior	80
2.2.8.8.	Propiedades del Límite Superior.....	80
2.2.8.9.	Ratio de Amortiguamiento Efectivo (H_{eq} o β_M).....	81
2.2.8.10.	Resistencia Característica (Q_d).....	81
2.2.8.11.	Rigidez Equivalente (K_{eff} o K_{eq})	82
2.2.8.12.	Rigidez Inicial (K_1)	83
2.2.8.13.	Rigidez Post-Fluencia (K_2 o K_d)	84
2.2.8.14.	Rigidez Vertical (K_v)	84
2.2.8.15.	Scragging	85
III.	METODOLOGÍA.....	86
3.1.	Tipo y Nivel de investigación	86
3.2.	Diseño de investigación	87
3.3.	Población, muestra, muestreo.....	87
3.4.	Criterios de selección.....	89
3.5.	Operacionalización de variables.....	90
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	91
3.6.1.	Técnicas de Recolección de Datos	91
3.6.1.1.	Estudio de Mecánica de Suelos.....	91
3.6.1.2.	Análisis Estructural	91
3.6.2.	Instrumentos de Recolección	91
3.6.2.1.	Estudio de Mecánica de Suelos.....	91

3.6.2.2.	Diseño estructural	93
3.6.2.3.	Reglamentos.....	93
3.6.2.4.	Catálogos, Especificaciones Técnicas y Bibliografía	93
3.7.	Procedimientos.....	94
3.7.1.	Estudio de Mecánica de Suelos	94
3.7.2.	Diseño Estructural	95
3.7.2.2.	Predimensionamiento.....	95
3.7.2.3.	Modelamiento.....	100
3.7.2.4.	Análisis por Sismo Estático	101
3.7.2.5.	Análisis por Sismo Dinámico	101
3.7.2.6.	Combinaciones de Diseño.....	101
3.7.2.7.	Diseño de Vigas	103
3.7.2.8.	Diseño de Columnas	111
a.	Condición de Estabilidad	111
b.	Condición de Esbeltez.....	112
c.	Refuerzo Longitudinal	113
d.	Refuerzo Transversal	114
3.7.2.9.	Diseño de Muro de Corte	117
a.	Consideraciones de Diseño	117
b.	Refuerzo Vertical	118
c.	Refuerzo Horizontal.....	121
3.7.2.10.	Diseño de Losa Aligerada	124
3.7.2.11.	Diseño de Losa Maciza	127
3.7.2.12.	Diseño de Escaleras	128
3.7.2.13.	Plata de Cimentación.....	136
3.7.2.14.	Vigas de Cimentación	140
3.7.2.15.	Pedestales.....	144
3.7.2.16.	Vigas de Aislamiento	146
3.7.2.17.	Losa de Aislamiento	148
3.7.3.	Consideraciones del Diseño de Aislamiento	149
3.7.3.1.	Espectro de Aceleración de Diseño	149
3.7.3.2.	Centro de Masa y Ratio Pt	151
3.7.3.3.	Amortiguamiento y Periodo.....	152

3.7.3.4.	Desplazamiento Máximo y Máximo Total	153
3.7.3.5.	Factores de Modificación.....	155
3.7.3.6.	Peso Sísmico	156
3.7.3.7.	Rigidez Efectiva Mínima por Unidad	157
3.7.4.	Diseño de Sistema de Aislación HDRB	158
3.7.4.1.	Diámetro Mínimo.....	158
3.7.4.2.	Diseño Histerético del Aislamiento	159
3.7.5.	Diseño del Sistema de Aislación LRB	167
3.7.5.1.	Diámetro Mínimo.....	167
3.7.5.2.	Diseño Histerético del Aislamiento	168
3.7.6.	Diseño del Sistema de Aislación FPS	179
3.7.6.1.	Carga Axial Máxima.....	179
3.7.6.2.	Características Geométricas.....	179
3.7.6.3.	Propiedades del Aislador	180
3.7.6.4.	Factores de Modificación.....	183
3.7.6.5.	Rigidez al Corte (K_{eq} , K_1 y K_d)	184
3.7.6.6.	Resistencia Característica	186
3.7.6.7.	Energía por Ciclo Histerético.....	186
3.7.7.	Aislador Deslizador.....	189
3.7.7.1.	Diámetro Mínimo.....	189
3.7.7.2.	Diseño Histerético del Aislamiento	190
3.7.7.	Amortiguamiento y Periodo Efectivo Final	199
3.7.7.1.	Propiedades Cortante del Sistema.....	199
3.7.7.2.	Amortiguamiento Equivalente	200
3.7.7.3.	Factor de Amortiguamiento	200
3.7.7.4.	Periodo Efectivo.....	200
3.7.7.5.	Fuerza de Amortiguamiento.....	201
3.7.7.6.	Desplazamiento Máximo	202
3.7.7.7.	Convergencias.....	202
3.7.8.	Fuerza Cortante en la Estructura	203
3.7.9.	Fuerza Cortante Total Reducida.....	204
3.7.10.	Coeficiente de Respuesta Sísmica.....	204
3.7.11.	Fuerza Cortante en la Base.....	205
3.7.12.	Coeficiente del Periodo Fundamental	205

3.7.13.	Factor de Distribución Vertical	206
3.7.14.	Evaluación Estática	207
3.7.15.	Evaluación Dinámica	208
3.7.16.	Espectro de Respuesta Tiempo Historia.....	209
3.7.16.1.	Escalado de Registros	209
3.7.16.2.	Selección de Acelerogramas	214
3.7.16.3.	Periodos Límites	214
3.7.16.4.	Evaluación de Tiempo Historia.....	215
3.7.17.	Consideraciones del Diseño Estructural.....	216
3.7.17.1.	Diseño por Análisis Lineal Estático.....	216
3.7.17.2.	Diseño por Análisis Lineal Dinámico.....	216
3.7.17.3.	Diseño Estructural de Sistemas Aislados.....	218
3.7.17.4.	Presupuesto de Estructuras	219
3.8.	Plan de procesamiento y análisis de datos	221
3.8.1.	Estudio de suelos.....	221
3.8.2.	Diseño Estructural Convencional.....	221
3.8.3.	Diseño Sistema de Aislamiento.....	221
3.9.	Matriz de consistencia.....	222
3.10.	Consideraciones éticas	223
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	224
4.1.	Resultados.....	224
4.1.1.	Capacidad Portante.....	224
4.1.2.	Diseño Estructural	226
4.1.2.1.	Platea de Cimentación.....	226
4.1.2.2.	Vigas de Cimentación	228
4.1.2.3.	Escaleras	229
4.1.2.4.	Columnas	232
4.1.2.5.	Muros de Corte o Placa.....	240
4.1.2.6.	Vigas de Entrepiso y Viguetas	242
4.1.2.7.	Losa Aligerada y Maciza	252
4.1.2.8.	Interfaz de Aislamiento.....	257
4.1.3.	Sistema de Aislamiento.....	264

4.1.3.1.	Sistema HDRB	265
4.1.3.2.	Sistema LRB	271
4.1.3.3.	Sistema FPS	277
4.1.4.	Análisis Sísmico Estático	283
4.1.4.1.	Sistema HDRB	283
4.1.4.2.	Sistema LRB	290
4.1.4.3.	Sistema FPS	297
4.1.5.	Análisis Sísmico Dinámico	304
4.1.5.1.	Sistema HDRB	304
4.1.5.2.	Sistema LRB	313
4.1.5.3.	Sistema FPS	322
4.1.6.	Análisis Espectro Tiempo – Historia	331
4.1.6.1.	Sistema HDRB	333
4.1.6.2.	Sistema LRB	347
4.1.6.3.	Sistema FPS	361
4.1.7.	Presupuesto Estructural	375
4.1.7.1.	Sistema Convencional	376
4.1.7.2.	Sistema HDRB	377
4.1.7.3.	Sistema LRB	379
4.1.7.4.	Sistema FPS	381
4.1.8.	Costos por Daño Estructural	383
4.1.	Discusión.....	386
4.1.1.	Variación en Diseño Estructural	386
4.1.2.	Impacto del Amortiguamiento Efectivo	391
4.1.3.	Periodos Fundamentales.....	396
4.1.4.	Comparación de Desplazamientos y Derivas.....	401
4.1.5.	Desplazamientos en Base y Entrepisos	402
4.1.5.1.	Análisis de Sismo Estático	402
4.1.5.2.	Análisis de Sismo Dinámico	406
4.1.5.3.	Análisis de Espectro de Respuesta.....	410
4.1.6.	Derivas de Entrepiso	432
4.1.6.1.	Análisis de Sismo Estático	432
4.1.6.2.	Análisis de Sismo Dinámico	436

4.1.6.3. Análisis de Espectro de Respuesta.....	440
4.1.7. Fuerzas de aplastamiento y elevación	462
4.1.8. Impacto en el Presupuesto.....	465
4.1.9. Comentarios Adicionales de Resultados	474
V. CONCLUSIONES.....	477
VI. RECOMENDACIONES	479
VII. LISTA DE REFERENCIAS	480
VIII. ANEXOS.....	488

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 – Lista de los 10 sismos más fuertes de la historia	35
Tabla N° 2 – Propiedades geotécnicas de los sectores.....	39
Tabla N° 3 – Cuadro de operacionalización de variables.....	90
Tabla N° 4 – Peraltes Mínimos de Losas	95
Tabla N° 5 - Aceleraciones de terreno para $T=0.2s$ y $T=1s$ en el Perú	149
Tabla N° 6 – Coeficiente de sitio para Periodo Corto (F_a).....	150
Tabla N° 7 – Coeficiente de Sitio para Periodo Largo (F_v).....	150
Tabla N° 8 – Factor de amortiguamiento (B_M)	153
Tabla N° 9 – Modificadores del Factor de Modificación para calidad conocida	156
Tabla N° 10 – Modificadores del Factor de Modificación para calidad desconocida.....	156
Tabla N° 11 – Propiedades de goma para aisladores HDRB	159
Tabla N° 12 – Propiedades de la goma para LRB	168
Tabla N° 13 – Modificadores para aisladores FPS de buena calidad	183
Tabla N° 14 – Modificadores para aisladores FPS de calidad desconocida	184
Tabla N° 15 – Relación de probabilidad de excedencia según sismo	209
Tabla N° 16 – Matriz de Consistencia	222
Tabla N° 17 – Acero de platea de cimentación para Sistema Convencional	226
Tabla N° 18 – Diseño de platea de cimentación para Sistema Aislado	227
Tabla N° 19 – Distribución de acero en vigas de cimentación para Sistema Convencional	228
Tabla N° 20 – Distribución de acero en vigas de cimentación para Sistema Aislado	229
Tabla N° 21 – Distribución de acero del tramo de escalera para Sistema Convencional.....	230
Tabla N° 22 – Distribución de acero en el descanso para Sistema Convencional.....	230
Tabla N° 23 – Distribución de acero de tramo de escalera para Sistema Aislado	231
Tabla N° 24 – Distribución de acero en el descanso para Sistema Convencional.....	231
Tabla N° 25 – Columnas del primer nivel para Sistema Convencional	233
Tabla N° 26 – Columnas del segundo nivel para Sistema Convencional	234
Tabla N° 27 – Columnas del tercer y cuarto nivel para Sistema Convencional	235
Tabla N° 28 – Columnas del quinto nivel para Sistema Convencional	235
Tabla N° 29 – Columnas del primer nivel para Sistema Aislado.....	236
Tabla N° 30 – Columnas del segundo nivel para Sistema Aislado.....	237
Tabla N° 31 – Columnas de tercer y cuarto nivel para Sistema Aislado.....	238
Tabla N° 32 – Columnas de quinto nivel para Sistema Aislado.....	239
Tabla N° 33 – Muros de corte del primer nivel para Sistema Convencional	241

Tabla N° 34 – Muros de corte del segundo nivel para Sistema Convencional	241
Tabla N° 35 – Muros de corte del tercer y cuarto nivel para Sistema Convencional	242
Tabla N° 36 – Vigas del primer nivel para Sistema Convencional	243
Tabla N° 37 – Vigas del segundo nivel para Sistema Convencional	244
Tabla N° 38 – Vigas del tercer nivel para Sistema Convencional	245
Tabla N° 39 – Vigas del cuarto nivel para Sistema Convencional	246
Tabla N° 40 – Vigas del quinto nivel para Sistema Convencional	247
Tabla N° 41 – Vigas del primer nivel para Sistema Aislado	248
Tabla N° 42 – Vigas del segundo nivel para Sistema Aislado	249
Tabla N° 43 – Vigas del tercer nivel para Sistema Aislado	250
Tabla N° 44 – Vigas del cuarto nivel para Sistema Aislado	251
Tabla N° 45 – Vigas del quinto nivel para Sistema Aislado	252
Tabla N° 46 – Acero en losa aligerada del primer nivel para Sistema Convencional	253
Tabla N° 47 – Acero en losa aligerada del segundo nivel para Sistema Convencional	253
Tabla N° 48 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Convencional	253
Tabla N° 49 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Convencional	254
Tabla N° 50 – Acero en Losa Aligerada del Primer Nivel para Edificación Aislada	254
Tabla N° 51 – Acero en losa aligerada del segundo nivel para Sistema Aislado	255
Tabla N° 52 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Aislado	255
Tabla N° 53 – Acero en losa aligerada del cuarto nivel para Sistema Aislado	255
Tabla N° 54 – Acero en losa maciza del quinto nivel para Sistema Convencional	256
Tabla N° 55 – Acero en losa maciza del quinto nivel para Sistema Aislado	256
Tabla N° 56 – Acero en vigas peraltadas de interfaz de aislamiento	258
Tabla N° 57 – Acero de refuerzo de losa de aislamiento	259
Tabla N° 58 – Detalle de refuerzo para pedestales superiores	260
Tabla N° 59 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado HDRB	261
Tabla N° 60 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado LRB	262
Tabla N° 61 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado FPS	263
Tabla N° 62 – Características geométricas de aisladores del Sistema HDRB	265
Tabla N° 63 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema HDRB	266
Tabla N° 64 – Dimensión de pedestales inferiores del Sistema HDRB	267
Tabla N° 65 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador HDRB	268
Tabla N° 66 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador HDRB	268
Tabla N° 67 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador HDRB	269
Tabla N° 68 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador HDRB	269

Tabla N° 69 – Propiedades histeréticas del Sistema HDRB	270
Tabla N° 70 – Características geométricas de aisladores del Sistema LRB	271
Tabla N° 71 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema LRB	272
Tabla N° 72 - Dimensión de pedestales inferiores del Sistema LRB.....	273
Tabla N° 73 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador LRB.....	274
Tabla N° 74 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador LRB	274
Tabla N° 75 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador LRB	275
Tabla N° 76 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador LRB	275
Tabla N° 77 – Propiedades histeréticas del Sistema LRB	276
Tabla N° 78 – Características geométricas de aisladores del Sistema FPS	277
Tabla N° 79 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema FPS	278
Tabla N° 80 – Dimensión de pedestales inferiores del Sistema FPS	279
Tabla N° 81 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador FPS.....	280
Tabla N° 82 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador FPS	280
Tabla N° 83 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador FPS	281
Tabla N° 84 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador FPS	281
Tabla N° 85 – Propiedades histeréticas del Sistema FPS	282
Tabla N° 86 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema HDRB.....	283
Tabla N° 87 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema HDRB	284
Tabla N° 88 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sistema HDRB.....	284
Tabla N° 89 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB.....	284
Tabla N° 90 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Sistema HDRB	286
Tabla N° 91 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Sistema HDRB	286
Tabla N° 92 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB.....	288
Tabla N° 93 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB	289
Tabla N° 94 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema LRB	290
Tabla N° 95 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema LRB.....	290
Tabla N° 96 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sistema LRB.....	291
Tabla N° 97 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema LRB.....	291
Tabla N° 98 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema LRB.....	293
Tabla N° 99 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema LRB	293
Tabla N° 100 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB	295
Tabla N° 101 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB	296

Tabla N° 102 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema FPS	297
Tabla N° 103 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema FPS	297
Tabla N° 104 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema FPS	298
Tabla N° 105 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema FPS	298
Tabla N° 106 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema FPS	300
Tabla N° 107 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema FPS	300
Tabla N° 108 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS	302
Tabla N° 109 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS	303
Tabla N° 110 – Modos de vibración del Sistema HDRB.....	304
Tabla N° 111 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema HDRB	307
Tabla N° 112 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB	307
Tabla N° 113 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema HDRB.....	309
Tabla N° 114 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema HDRB.....	309
Tabla N° 115 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB ...	311
Tabla N° 116 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB ...	312
Tabla N° 117 – Modos de vibración del Sistema LRB	313
Tabla N° 118 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema LRB	316
Tabla N° 119 - Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema LRB	316
Tabla N° 120 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema LRB	318
Tabla N° 121 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema LRB	318
Tabla N° 122 - Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB.....	320
Tabla N° 123 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB	321
Tabla N° 124 - Modos de vibración del Sistema FPS.....	322
Tabla N° 125 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema FPS	325
Tabla N° 126 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema FPS	325
Tabla N° 127 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema FPS	327
Tabla N° 128 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema FPS	327
Tabla N° 129 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS	329
Tabla N° 130 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS.....	330
Tabla N° 131 – Información del sismo de Moquegua (2005).....	331
Tabla N° 132 – Información del sismo de Ica (2007)	331
Tabla N° 133 – Información del sismo de Lima (2013).....	332
Tabla N° 134 – Información del sismo de Pastaza (2019).....	332
Tabla N° 135 - Información del sismo de Lagunas (2019).....	332
Tabla N° 136 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema HDRB.....	333
Tabla N° 137 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema HDRB	333

Tabla N° 138 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema HDRB	333
Tabla N° 139 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite inferior para Sistema HDRB	334
Tabla N° 140 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema HDRB	334
Tabla N° 141 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema HDRB	334
Tabla N° 142 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema HDRB	336
Tabla N° 143 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema HDRB	336
Tabla N° 144 – Desplazamiento sentido Y en Lima de Límite Inferior para Sistema HDRB	336
Tabla N° 145 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema HDRB	337
Tabla N° 146 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite inferior para Sistema HDRB	337
Tabla N° 147 – Desplazamiento Promedio sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB	337
Tabla N° 148 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema HDRB	339
Tabla N° 149 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema HDRB	339
Tabla N° 150 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema HDRB	339
Tabla N° 151 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema HDRB	340
Tabla N° 152 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema HDRB	340
Tabla N° 153 – Desplazamiento promedio sentido X de límite superior para Sistema HDRB	340
Tabla N° 154 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema HDRB	342
Tabla N° 155 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema HDRB	342
Tabla N° 156 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema HDRB	342

Tabla N° 157 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema HDRB	343
Tabla N° 158 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema HDRB	343
Tabla N° 159 – Desplazamiento Promedio sentido Y de Límite Superior para Sistema HDRB	343
Tabla N° 160 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB	345
Tabla N° 161 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB	346
Tabla N° 162 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema LRB	347
Tabla N° 163 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema LRB	347
Tabla N° 164 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema LRB	347
Tabla N° 165 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema LRB	348
Tabla N° 166 - Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite inferior para Sistema LRB	348
Tabla N° 167 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema LRB	348
Tabla N° 168 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema LRB	350
Tabla N° 169 - Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema LRB	350
Tabla N° 170 - Desplazamiento sentido Y en Lima de Límite Inferior para Sistema LRB	350
Tabla N° 171 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema LRB	351
Tabla N° 172 - Desplazamiento sentido Y en Lagunas de Límite Inferior para Sistema LRB	351
Tabla N° 173 – Desplazamiento Promedio sentido Y de Límite Inferior para Sistema LRB	351
Tabla N° 174 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema LRB	353
Tabla N° 175 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema LRB	353
Tabla N° 176 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema LRB	353
Tabla N° 177 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema LRB	354

Tabla N° 178 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema LRB	354
Tabla N° 179 – Desplazamiento promedio sentido X de límite superior para Sistema LRB	354
Tabla N° 180 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema LRB	356
Tabla N° 181 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema LRB	356
Tabla N° 182 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema LRB	356
Tabla N° 183 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema LRB	357
Tabla N° 184 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema LRB	357
Tabla N° 185 – Desplazamiento Promedio sentido Y de límite superior para Sistema LRB	357
Tabla N° 186 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB	359
Tabla N° 187 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB	360
Tabla N° 188 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema FPS	361
Tabla N° 189 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema FPS	361
Tabla N° 190 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema FPS	361
Tabla N° 191 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema FPS	362
Tabla N° 192 – Desplazamiento sentido X en lagunas de límite inferior para Sistema FPS	362
Tabla N° 193 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema FPS	362
Tabla N° 194 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema FPS	364
Tabla N° 195 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema FPS	364
Tabla N° 196 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite inferior para Sistema FPS	364
Tabla N° 197 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema FPS	365
Tabla N° 198 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite inferior para Sistema FPS	365
Tabla N° 199 – Desplazamiento Promedio sentido Y en límite inferior para Sistema FPS	365

Tabla N° 200 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema FPS	367
Tabla N° 201 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema FPS ...	367
Tabla N° 202 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema FPS	367
Tabla N° 203 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema FPS	368
Tabla N° 204 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema FPS	368
Tabla N° 205 – Desplazamiento promedio sentido X en límite superior para Sistema FPS	368
Tabla N° 206 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema FPS	370
Tabla N° 207 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema FPS ...	370
Tabla N° 208 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema FPS	370
Tabla N° 209 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema FPS	371
Tabla N° 210 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema FPS	371
Tabla N° 211 – Desplazamiento promedio sentido Y en límite superior para Sistema FPS	371
Tabla N° 212 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS	373
Tabla N° 213 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS	374
Tabla N° 214 – Presupuesto de estructuras para Sistema Convencional	376
Tabla N° 215 – Presupuesto de estructuras para Sistema HDRB.....	377
Tabla N° 216 – Presupuesto de estructuras para Sistema HDRB (Continuación)	378
Tabla N° 217 – Presupuesto de estructuras para Sistema LRB	379
Tabla N° 218 – Presupuesto de estructuras para Sistema LRB (Continuación).....	380
Tabla N° 219 – Presupuesto de estructuras para Sistema FPS	381
Tabla N° 220 – Presupuesto de estructuras para Sistema FPS (Continuación).....	382
Tabla N° 221 – Deriva Máxima de Edificación por Sistema	383
Tabla N° 222 – Daño estructural en porcentaje por Sistema	385
Tabla N° 223 – Variación de volumen de concreto de estructuras comunes entre Sistemas	386
Tabla N° 224 – Variación de peso de acero de estructuras comunes entre Sistemas	387
Tabla N° 225 – Volumen de concreto total (m3) por Sistema	389
Tabla N° 226 – Peso de acero total (kg) por Sistema	389
Tabla N° 227 – Variación porcentual de metrado entre Sistemas	390

Tabla N° 228 – Amortiguamiento Efectivo por sistema estudiado	392
Tabla N° 229 – Rigidez Efectiva por sistema estudiado	395
Tabla N° 230 – Modos Fundamentales de vibración para Sistema Convencional	396
Tabla N° 231 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 1	398
Tabla N° 232 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 2	399
Tabla N° 233 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 3	399
Tabla N° 234 – Desplazamientos en la base Sentido X por sistema en Límite Inferior	430
Tabla N° 235 – Desplazamientos en la base Sentido Y por sistema en Límite Inferior	430
Tabla N° 236 – Desplazamientos en la base Sentido X por sistema en Límite Superior	431
Tabla N° 237 – Desplazamientos en la base Sentido Y por sistema en Límite Superior	431
Tabla N° 238 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	432
Tabla N° 239 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	433
Tabla N° 240 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	434
Tabla N° 241 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior	435
Tabla N° 242 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	436
Tabla N° 243 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	437
Tabla N° 244 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	438
Tabla N° 245 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior	439
Tabla N° 246 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	440
Tabla N° 247 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	441
Tabla N° 248 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	442
Tabla N° 249 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior	443
Tabla N° 250 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	444
Tabla N° 251 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	445
Tabla N° 252 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	446
Tabla N° 253 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	447
Tabla N° 254 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	448
Tabla N° 255 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	449
Tabla N° 256 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	450
Tabla N° 257 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	451
Tabla N° 258 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	452
Tabla N° 259 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	453
Tabla N° 260 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	454
Tabla N° 261 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior	455
Tabla N° 262 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior	456
Tabla N° 263 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior	457
Tabla N° 264 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior	458

Tabla N° 265 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior	459
Tabla N° 266 – Comparación de Derivas sentido X por sistema en Límite Inferior	460
Tabla N° 267 – Comparación de Derivas sentido Y por sistema en Límite Inferior	460
Tabla N° 268 – Comparación de Derivas sentido X por sistema en Límite Superior.....	461
Tabla N° 269 – Comparación de Derivas sentido Y por sistema en Límite Superior.....	461
Tabla N° 270 – Fuerzas de Aplastamiento por sistema en Límite Inferior	462
Tabla N° 271 – Fuerzas de Levantamiento por sistema en Límite Inferior	462
Tabla N° 272 – Fuerzas de Aplastamiento por sistema en Límite Superior	463
Tabla N° 273 – Fuerzas de Levantamiento por sistema en Límite Superior.....	463
Tabla N° 274 – Variación en costos de Obras de Concreto Armado entre Sistemas.....	466
Tabla N° 275 – Variación en costos de Movimientos de Tierras entre Sistemas	467
Tabla N° 276 – Variación en costos de Obras de Concreto Simples entre Sistemas	468
Tabla N° 277 – Presupuesto total de Estructuras para Sistemas	468
Tabla N° 278 – Porcentaje de aportes por partidas en el Presupuesto Estructura	469
Tabla N° 279 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema HDRB.....	471
Tabla N° 280 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema LRB	471
Tabla N° 281 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema FPS	471
Tabla N° 282 – Comparación de presupuesto final entre Sistemas	472
Tabla N° 283 – Porcentaje de variación entre sistemas por incremento en el presupuesto	473
Tabla N° 284 – Sistema predominante en cada criterio estudiado	474
Tabla N° 285 – Resumen de características del sistema HDRB.....	475
Tabla N° 286 – Resumen de características del sistema LRB	475
Tabla N° 287 – Resumen de características del sistema FPS	476

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1.....	45
Ec. 2.....	45
Ec. 3.....	46
Ec. 4.....	47
Ec. 5.....	49
Ec. 6.....	49
Ec. 7.....	55
Ec. 8.....	56
Ec. 9.....	56
Ec. 10.....	56
Ec. 11.....	56
Ec. 12.....	58
Ec. 13.....	59
Ec. 14.....	63
Ec. 15.....	65
Ec. 16.....	65
Ec. 17.....	65
Ec. 18.....	65
Ec. 19.....	66
Ec. 20.....	66
Ec. 21.....	66
Ec. 22.....	66
Ec. 23.....	66
Ec. 24.....	67
Ec. 25.....	67
Ec. 26.....	68
Ec. 27.....	69
Ec. 28.....	71
Ec. 29.....	71
Ec. 30.....	71
Ec. 31.....	72

Ec. 32	72
Ec. 33	73
Ec. 34	73
Ec. 35	73
Ec. 36	73
Ec. 37	96
Ec. 38	96
Ec. 39	97
Ec. 40	97
Ec. 41	97
Ec. 42	98
Ec. 43	98
Ec. 44	99
Ec. 45	99
Ec. 46	100
Ec. 47	100
Ec. 48	102
Ec. 49	102
Ec. 50	102
Ec. 51	102
Ec. 52	102
Ec. 53	102
Ec. 54	102
Ec. 55	102
Ec. 56	102
Ec. 57	102
Ec. 58	102
Ec. 59	102
Ec. 60	102
Ec. 61	102
Ec. 62	102
Ec. 63	102
Ec. 64	102
Ec. 65	102

Ec. 66	102
Ec. 67	103
Ec. 68	103
Ec. 69	103
Ec. 70	103
Ec. 71	104
Ec. 72	105
Ec. 73	105
Ec. 74	105
Ec. 75	107
Ec. 76	107
Ec. 77	108
Ec. 78	108
Ec. 79	108
Ec. 80	108
Ec. 81	108
Ec. 82	109
Ec. 83	109
Ec. 84	109
Ec. 85	110
Ec. 86	110
Ec. 87	111
Ec. 88	112
Ec. 89	113
Ec. 90	113
Ec. 91	114
Ec. 92	114
Ec. 93	114
Ec. 94	114
Ec. 95	115
Ec. 96	115
Ec. 97	117
Ec. 98	118
Ec. 99	118

Ec. 100	119
Ec. 101	119
Ec. 102	120
Ec. 103	120
Ec. 104	120
Ec. 105	121
Ec. 106	121
Ec. 107	121
Ec. 108	121
Ec. 109	122
Ec. 110	122
Ec. 111	123
Ec. 112	123
Ec. 113	124
Ec. 114	124
Ec. 115	125
Ec. 116	126
Ec. 117	126
Ec. 118	128
Ec. 119	128
Ec. 120	129
Ec. 121	129
Ec. 122	129
Ec. 123	130
Ec. 124	130
Ec. 125	130
Ec. 126	131
Ec. 127	131
Ec. 128	132
Ec. 129	132
Ec. 130	133
Ec. 131	133
Ec. 132	134
Ec. 133	134

Ec. 134	134
Ec. 135	135
Ec. 136	135
Ec. 137	136
Ec. 138	136
Ec. 139	137
Ec. 140	138
Ec. 141	138
Ec. 142	138
Ec. 143	138
Ec. 144	139
Ec. 145	139
Ec. 146	139
Ec. 147	139
Ec. 148	140
Ec. 149	140
Ec. 150	141
Ec. 151	142
Ec. 152	142
Ec. 153	142
Ec. 154	143
Ec. 155	143
Ec. 156	143
Ec. 157	143
Ec. 158	143
Ec. 159	145
Ec. 160	145
Ec. 161	147
Ec. 162	147
Ec. 163	147
Ec. 164	148
Ec. 165	148
Ec. 166	150
Ec. 167	150

Ec. 168.....	151
Ec. 169.....	151
Ec. 170.....	151
Ec. 171.....	152
Ec. 172.....	152
Ec. 173.....	153
Ec. 174.....	154
Ec. 175.....	154
Ec. 176.....	155
Ec. 177.....	155
Ec. 178.....	157
Ec. 179.....	157
Ec. 180.....	157
Ec. 181.....	157
Ec. 182.....	158
Ec. 183.....	158
Ec. 184.....	158
Ec. 185.....	160
Ec. 186.....	161
Ec. 187.....	161
Ec. 188.....	162
Ec. 189.....	163
Ec. 190.....	163
Ec. 191.....	163
Ec. 192.....	163
Ec. 193.....	163
Ec. 194.....	163
Ec. 195.....	164
Ec. 196.....	164
Ec. 197.....	164
Ec. 198.....	164
Ec. 199.....	165
Ec. 200.....	165
Ec. 201.....	165

Ec. 202	166
Ec. 203	166
Ec. 204	166
Ec. 205	167
Ec. 206	167
Ec. 207	167
Ec. 208	169
Ec. 209	170
Ec. 210	170
Ec. 211	170
Ec. 212	170
Ec. 213	171
Ec. 214	171
Ec. 215	171
Ec. 216	172
Ec. 217	172
Ec. 218	172
Ec. 219	172
Ec. 220	173
Ec. 221	173
Ec. 222	173
Ec. 223	173
Ec. 224	174
Ec. 225	174
Ec. 226	174
Ec. 227	174
Ec. 228	175
Ec. 229	175
Ec. 230	175
Ec. 231	175
Ec. 232	175
Ec. 233	175
Ec. 234	176
Ec. 235	176

Ec. 236.....	176
Ec. 237.....	176
Ec. 238.....	177
Ec. 239.....	177
Ec. 200.....	177
Ec. 201.....	178
Ec. 202.....	178
Ec. 203.....	178
Ec. 244.....	180
Ec. 245.....	180
Ec. 246.....	180
Ec. 247.....	180
Ec. 248.....	181
Ec. 249.....	181
Ec. 250.....	181
Ec. 251.....	182
Ec. 252.....	182
Ec. 253.....	182
Ec. 254.....	183
Ec. 255.....	184
Ec. 256.....	185
Ec. 257.....	185
Ec. 258.....	185
Ec. 259.....	185
Ec. 260.....	185
Ec. 261.....	186
Ec. 262.....	186
Ec. 263.....	186
Ec. 264.....	187
Ec. 265.....	187
Ec. 266.....	187
Ec. 267.....	188
Ec. 268.....	188
Ec. 269.....	188

Ec. 270.....	189
Ec. 271.....	189
Ec. 272.....	189
Ec. 273.....	191
Ec. 274.....	191
Ec. 275.....	191
Ec. 276.....	192
Ec. 277.....	192
Ec. 278.....	193
Ec. 279.....	194
Ec. 280.....	194
Ec. 281.....	194
Ec. 282.....	194
Ec. 283.....	194
Ec. 284.....	194
Ec. 285.....	195
Ec. 286.....	195
Ec. 287.....	195
Ec. 288.....	195
Ec. 289.....	196
Ec. 290.....	196
Ec. 291.....	196
Ec. 292.....	197
Ec. 293.....	197
Ec. 294.....	197
Ec. 295.....	198
Ec. 296.....	198
Ec. 297.....	198
Ec. 298.....	199
Ec. 299.....	199
Ec. 300.....	199
Ec. 301.....	199
Ec. 302.....	199
Ec. 303.....	200

Ec. 304	200
Ec. 305	201
Ec. 306	201
Ec. 307	201
Ec. 308	201
Ec. 309	202
Ec. 310	203
Ec. 311	203
Ec. 312	204
Ec. 313	204
Ec. 314	204
Ec. 315	204
Ec. 316	205
Ec. 317	205
Ec. 318	206
Ec. 319	206
Ec. 320	207
Ec. 321	207
Ec. 322	207
Ec. 323	207
Ec. 324	207
Ec. 325	208
Ec. 326	208
Ec. 327	208
Ec. 328	208
Ec. 329	208
Ec. 330	213
Ec. 331	215
Ec. 332	215
Ec. 333	215
Ec. 334	215
Ec. 335	215
Ec. 336	393

I. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la historia humana, la actividad sísmica ha sido crucial en el desarrollo de la vida del hombre. Aumentando su impacto en cuanto la sociedad se volvió sedentaria; siendo la principal razón del cambio en la infraestructura en el pasar del tiempo. El hombre se vio en la necesidad de adaptar, diseñar y construir edificaciones que sean capaces de soportar los movimientos sísmicos, para de esa forma asegurar su supervivencia. Tendencia que permanecería hasta la fecha y la que inspire el descubrimiento de nuevas tecnologías y métodos para su uso en el futuro.

La presencia de los movimientos sísmicos alrededor del mundo es debido al desplazamiento de las placas tectónicas en el interior del manto de la corteza terrestre; sin embargo, en el continente americano, la intensidad y frecuencia de estos es notoriamente mayor debido a que está ubicado sobre una zona de alta actividad tanto sísmica como volcánica denominada el cinturón de fuego del pacífico. Producto de la interacción de las placas del pacífico y nazca con las placas colindantes.

Por esta razón, en el continente americano hay gran actividad sísmica. Movimientos telúricos que afectan en mayor medida a los países latinoamericanos; quienes sufren constantemente los estragos de este tipo de fenómenos naturales. Los cuales pueden llegar a producir grandes pérdidas y/o tragedias, ya sea de ámbito económico, estructural o vidas humanas. Impactando gravemente en el desarrollo del país afectado.

El centro sismológico de la universidad de chiles, indicó que debido a la velocidad de convergencia entre las placa de nazca, la sismicidad Chile era la más intensa provocando los mayores terremotos. [1]. Sudamérica constantemente se encuentra en movimiento debido a la convergencia de las placas sobre las que se asienta, siendo Chile uno de los mayores afectados en cuanto a intensidad y frecuencia de ocurrencia sísmica por su ubicación entre el límite de las dos placas mencionadas anteriormente.

Tabla N° 1 – Lista de los 10 sismos más fuertes de la historia

Año	Lugar	Magnitud
1960	Valdivia, Chile	9.5
1964	Alaska, EE. UU.	9.2
2004	Sumatra, Indonesia	9.1
2011	Norte de Japón	9.0
1952	Este de Rusia	9.0
2010	Chile	8.8
1906	Ecuador	8.8
1965	Alaska, EE. UU.	8.7
2012	Sumatra, Indonesia	8.6
2005	Indonesia	8.6

Fuente: Tele13 (2015)

Como se puede observar en la Tabla N°1, de los diez sismos más fuerte en la historia, tres corresponden a países latinoamericanos, con dos de estos ocurridos en Chile; destacando el sismo con epicentro en Valdivia en el año 1960, catalogado como el terremoto más fuerte de la historia hasta la fecha. Debido a su historial sísmico, Chile se vio en la necesidad de desarrollar tecnología capaz de lidiar con estos eventos, con la finalidad de reducir en lo posible las pérdidas materiales y humanas.

El edificio militar “La Reina” en Chile, inaugurado en el año 2009, es una construcción de más de 85 000 m² divididos entre “el área de Hospitalización” (7 niveles y 16 818 m²), “el área académica” (3 niveles y 1 450 m²) y por último “la placa técnica” (4 niveles y 41 000 m²), Destacando este último por poseer 164 aisladores sísmicos en su cimentación, reduciendo las aceleraciones y deformaciones de la estructuras durante un sismo [2]. Fue considerado la prueba de fuego para la evaluación de la eficacia de los años de de investigación en el campo de la ingeniería antisísmica, debido a que soportó sin problemas el terremoto del año 2010 en Valparaíso. Resultado muy diferente al del las estructuras cercanas, las cuales se vieron altamente afectadas quedando muchas de ellas derrumbadas. Este evento permitió seguir adelante en el desarrollo de estas tecnologías.

Por esta razón, a pesar de ser de los países más sísmicos del continente, es el que presente el menor registro de pérdidas, a pesar de contar con edificios de gran envergadura. Entre ellos el Costanera, con 65 pisos y 300 metros de altura, considerado como uno de los edificios más alto de Latinoamérica [3]. Esto es debido a la importancia que Chile le dio al desarrollo de la ingeniería antisísmica, mediante la realización de normas de diseños apropiadas para cumplir con los requerimientos de su realidad. Así como la implementación de dispositivos de aislamientos y disipación de energía. Desarrollo que le valió a Chile estar al nivel de países como EEUU, México, Nueva Zelanda, China y Japón,

Sin embargo, a diferencia de los países nombrados, Chile presenta opciones de tecnología antisísmica al alcance de economías en vías de desarrollo como Perú, Ecuador y otros países latinoamericanos [4]. Ya que a pesar que están ideados para adaptarse a su realidad, cuenta con estándares comparables al de los reglamentos de EEUU y otros países.

Por otro lado, si bien la intensidad de los sismos que ocurren en Chile es mayor a la de los ocurridos en otros países, la frecuencia con los que ocurren los sismos en el resto de la costa sudamericana es muy similar, los cuales en muchos casos no son percibidos. Esto permite entender que todos los países tienen la misma probabilidad de presentar sismos de gran intensidad; aunque en algunos países no es necesario un movimiento sísmico de intensidades inmensas como para provocar destrozos.

En una entrevista a RPP noticias, el ingeniero Raúl Antón indicó que el 85% de los peruanos no consideran que sus viviendas resistan la venida de un sismo, en especial cuando el 60% de las viviendas son autoconstruidas [5]. Esto permite dar una idea de la realidad peruana ante la presencia de movimientos sísmicos, en donde a pesar que la frecuencia de estos no sea igual a Chile, las consecuencias de estos pueden ser devastadores, como se observó en los sismos de Moquegua (2001), Moyobamba (2005), Ica (2007), Pucallpa (2011), entre otros.

Por ello, el futuro de la construcción peruana es la utilización de aisladores sísmicos como respuesta al inminente peligro sísmico, no solo implementándolos en las construcciones si no que estudiando sus beneficios. Siendo los hospitales y colegios los primeros que deberán contar con ellos [6]. Actualmente la construcción de edificaciones antisísmicas ha ido creciendo en el Perú, al punto de llegar a ser un requisito de diseño implementado en las normas de construcción peruana.

Aún así, la utilización de estas tecnologías no se limitan a la implementación en aquel tipo de infraestructura, si no que a pesar de los costos, algunas empresas constructoras se animan a llevarla al rubro de construcción residencial, como es el caso de la inmobiliaria CISSAC la cual expresa que el costo de su implementación eleva entre un 10 a 18% costo original de la obra [7]. Esto permite entender que a pesar de su costo, la importancia de estos dispositivos en cada sector de la construcción, con la finalidad de asegurar no solo la integridad estructural; si no que mantener su servicialidad.

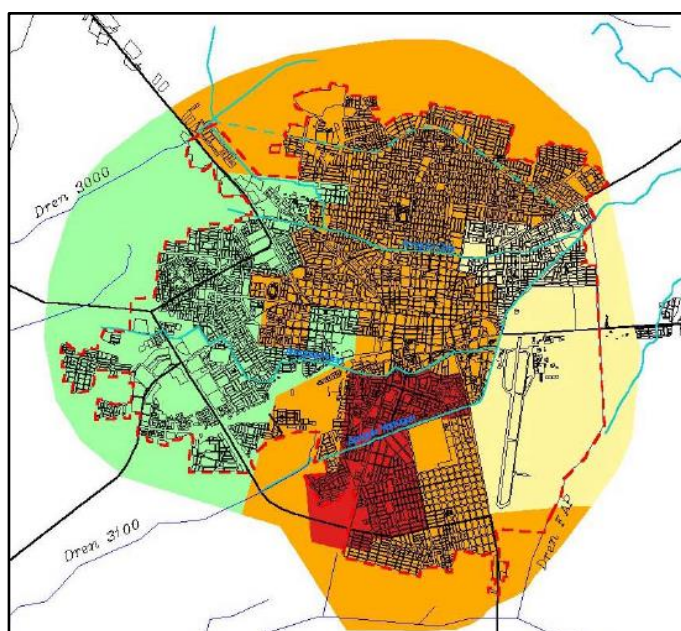
A raíz de de esto, actualmente se cuenta con grandes ejemplos de construcción con implementación de tecnología antisísmica como es el centro informático y de investigación de la FIC-UNI, la cual terminó sus construcción en el año 2015 y como el caso del edificio multifamiliar Atlantik Ocean Tower, considerado el primer mulifamiliar con aisladores antisísmicos en el Perú [6].

Aún así, a pesar que la nuevas tecnologías prometen mantener la integridad de las esctrucuras intactas ante los movimientos sísmicos, es necesario tener en cuenta la comptabilidad de los mismos, respecto a los diferentes tipos y configuraciones de suelos que presenta cada región. Ya que la consideraciones a tener en cuenta en el diseño de estructuras varia de una ciudad a otra, hasta pudiendo ser diferentes dentro de la misma ciudad identificandolas como sectores.

La ciudad de Chiclayo, es un claro ejemplo de esto ya que no solo destaca por la diversidad de su trama urbana. La cual presenta un marcado contraste entre las edificaciones antiguas y las construidas en la última década, conviviendo en un mismo espacio; si no que presenta distintas variaciones en la composición de sus suelos, así como también capacidades portantes bastantes bajas, aumentando las dificultades a la hora de construir e incrementar la vulnerabilidad ante un evento sísmico de gran magnitud.

La capacidad portante en los suelos de la Chiclayo, principalmente suelos blandos, destacan por poseer valores bajos, lo cual limita al momento de buscar cimentaciones apropiadas para el diseño estructural [8]

Imagen N° 1 – Sectorización de suelos de Chiclayo



Fuente: INDECI (2003)

Tabla N° 2 – Propiedades geotécnicas de los sectores

Sector	Descripción	Capacidad Portante	Nivel Freático
I	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	1.0 - 2.0 Kg/cm2	2.0 a 7.0 m.
II	Arcillas del tipo (CL y CH), Arenas (SC, SM y SP) y Gravas (GC y GP).	1.0 - 2.0 Kg/cm2	2.0 a 3.5 m.
III	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo CL, CH, CL-ML y en pequeñas proporciones arenas del tipo SC, SM y SP.	0.5 - 1.0 Kg/cm2	1.5 a 2.3 m.
IV	Arcillas de media y alta plasticidad del tipo (CL, CH, CL-ML) y en pequeñas proporciones arenas del tipo (SC, SM y SP).	0.0 - 0.5 Kg/cm2	1.0 a 2.0 m.

Fuente: INDECI (2003)

Como se puede observar tanto en la **Imagen N°1** y en la **Tabla N° 2**, el suelo chiclayano presenta marcadas diferencias en las condiciones a tener en cuenta al momento de cimentar una edificación, ya que como se puede observar, presenta combinaciones entre capacidades portantes bajas y las distintas profundidades al que se puede encontrar el nivel freático. Siendo estas dos características, las que perjudiquen fuertemente a la estructuras durante la ocurrencia de un movimiento sísmico de gran magnitud.

Por dicha razón, estudiar la posibilidad de expandir el uso de aisladores sísmicos a otros tipos de terrenos y condiciones, es de suma importancia para el desarrollo del ingeniería antisísmica en el país por diversas razones en el ámbito económico, técnico, social, ambiental y personal.

Económico. Después de la ocurrencia de un movimiento sísmico, las pérdidas son muy altas entre daños a la infraestructura, inhabilitación de caminos por escombros entre otras. Impactando a la economía local y nacional, tanto por lo perdido en el evento como por lo que costaría la reconstrucción de la ciudad. Sin embargo, mediante la implementación de sistemas de aislación que si bien aumenta el costo de construcción de las estructuras, a la larga mitiga los daños futuros protegiéndola.

Técnico. El estudio del comportamiento de los distintos tipos de aisladores sísmicos en las condiciones de suelo de Chiclayo, permite evaluar la viabilidad de su implementación en edificaciones comunes. Así como, el analizar los problemas o condiciones que se presentaron en el proceso. Expandiendo las capacidades de la tecnología antisísmica actual y en el proceso evitar que las edificaciones residenciales, a diferencia de las catalogadas como importantes, queden vulnerables ante los eventos sísmicos. Manteniendo su integridad estructural y de servicio por todo su tiempo de vida útil.

Social. Las pérdidas de vidas humanas durante un evento sísmico se producen en mayor medida por edificaciones desmoronándose que por el evento en sí. Por dicha razón, salvaguardar la seguridad de los ciudadanos es la principal razón para considerar la búsqueda de alternativas o soluciones para aquellos riesgos. Así que en el caso de los aisladores sísmicos, estos sistemas no son tienen el objetivo de velar por la estructura si no que las vida de sus habitantes y aledaños. Que de no poseer, se uniría a la cadena de escombros poniendo en peligro la vida.

Ambiental. Teniendo en cuenta la pobre gestión de residuos de la ciudad de Chiclayo, los escombros generados por viviendas colapsadas podrían quedar sin ningún tratamiento; yaciendo dispersas en alguno de los tantos espacios de la ciudad [9]. Por eso, la implementación de aisladores sísmico colabora indirectamente a la generación de este tipos de residuos y su impacto en el ambiente local.

Además a manera personal, el desarrollo de la presente investigación permitirá promover el desarrollo de estudio en tecnologías de protección que actualmente son casi ajenas a la realidad actual. Con la finalidad de poder en un futuro proteger la vida de los ciudadanos y mejor el estilo de vida.

El presente proyecto de investigación propuso el análisis que conlleva la implementación de una de las tecnologías de amortiguamiento existentes, el sistema de aislamiento sísmico, con la finalidad de cumplir con los objetivos a continuación.

- Diseñar y analizar el comportamiento de los tres tipos de aisladores sísmicos estudiados (HDRB, LRB y FPS) en el suelo chiclayano.
- Comparar el comportamiento sísmico de la edificación en cada caso planteado, fija en la base y con la implementación de aisladores.
- Analizar los condiciones estructurales y económicos de cada caso (Fijo, HDRB, LRB y FPS).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Si bien el sistema de aislación es una tecnología nueva en el territorio peruano, a nivel mundial son dispositivos que llevan usándose desde hace años atrás como los siguientes estudios demuestran.

A. Kamrava en su investigación titulada “Seismic Isolator and their Types” explica y describe el comportamiento de una estructura implementando dispositivos de protección sísmica como aisladores de uso popular, como el caso de aisladores elastoméricos (caucho natural “NRB” y núcleo de plomo “LRB”) y de péndulo friccionante “FPS”, comparándolos con el hipotético comportamiento de la estructura cuando su base está fija. Así como con el uso de variados tipos de disipadores (Disipadores de fluidos viscoso, entre otros) explicando su funcionamiento y componentes [10].

J. J. Valerio Zacarias en su tesis doctoral realizó un análisis comparativo entre una edificación de cimentación fija con una cuya base presenta 4 casos distintos de aisladores sísmicos, los cuales son HDRB, LRB, FPS y un sistema avanzado de aislamiento sísmico denominado Roll N-Cage “RNC”, siendo este una total innovación y el cual demuestra la mejor respuesta sísmica de los casos estudiados. Comparando los demás resultados el sistema RNC reduce el desplazamiento de los pisos de la edificación en estudio en aproximadamente 86% en comparación con la misma edificación en cimentación fija. Como dato agregado, cada uno de estos sistemas de aisladores fue diseñado previamente para adaptarse al caso de estudio [11].

R. Aguiar, D. Mora y E. Tipanluisa en su artículo “*El método del espectro de capacidad en estructuras con aisladores FPT con Ceinci-Lab*” obtiene la curva de capacidad sísmica resistente de los aisladores de triple péndulo de fricción o FPS mediante el método del espectro de capacidad, con la utilización de los softwares especializado del sistema de computación Ceinci-Lab siguiendo las normas ecuatorianas de construcción NEC-15. Indicando y explicando el comportamiento de los aisladores, así mismo la manera en la que funciona el sistema explicando a manera de manual los procesos a seguir para la correcta utilización de las ventajas que brinda. El programa hace un análisis lineal y no líneas del aislador para poder determinar un cálculo casi exacto de su desempeño [12].

R. Aguiar, E. Morales, B. Guaygua y M. Rodriguez en su artículo “*Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación*” exponen de una manera simplificadas los cálculos del método de 5 fases, el cual se encarga de explicar el comportamiento del sistema de triple péndulo de fricción. Sin embargo este método, expuesto por un grupo investigador de la Universidad de Bufalo presenta complicaciones debido a la complejidad de estos. Por esa razón se buscó aplicar dichos cálculos a un caso en la realidad con la finalidad de simplificar y facilitar su entendimiento, siendo en este caso usado el bloque estructural 2 del centro de investigación científicas y de post grado de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE [13].

J. A. Oviendo en el tercer simposio de ingeniería de materiales y estructuras expuso el tema “*Protección Sísmica y Reforzamiento de Edificaciones a través de Sistemas no Convencionales*” en donde explican la importancia de tecnologías de prevención sísmica ya que a la larga sale más conveniente que los gastos por refacción y corrección, mediante una tabla comparativa entre ambos. A su vez, se presentó cada uno de los tipos de tecnología de prevención o técnica de control de respuesta sísmica (TCRS), como es también denominado, que existe actualmente en el mercado tanto

para los distintos tipos de aislamiento sísmico, disipadores y como los de masa adicional. Así como también se explicó mediante programa computacional y software de análisis estructural su influencia en la respuesta sísmica, y en qué medida beneficia a las estructuras ya que estos poseen la capacidad de mantener el comportamiento de la edificación muy cerca de la zona elástica, específicamente los sistemas de aislamiento la mantienen en la zona elástica [14].

A. Aguirre, Y. Yuriko, P. Huallanca y L.F. en sus tesis de pregrado denominado *“Influencia de la esbeltez en el comportamiento estructural de los edificios con aislamiento de base”* explican las diferencias existentes en la respuesta sísmica dependiendo de la geometría de la superestructura utilizando distintos casos en lo que la estructura de estudio presenta distintas variaciones en altura y base, así como en los elementos estructurales de esa identificando en qué medida el sistema de aislamiento mejora el comportamiento sísmico de la edificación [15].

2.2. Bases Teórico Científicas

2.2.1. Mecánica de Suelos

2.2.1.1. Ensayos de Identificación

a. Absorción (%A)

Medido en porcentaje de la masa seca (%), la absorción es el aumento de la masa por el ingreso de agua a los poros internos de un agregado cuando es saturado [16].

$$\%A = \frac{(W_{humedo} - W_{seco})}{W_{seco}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

b. Capacidad de Carga Límite (q_d)

Es la máxima presión sobre la cimentación que el suelo puede soportar sin que esta se hunda [17].

c. Capacidad Portante (q_{adm})

Conocido como esfuerzo admisible, es la capacidad de carga límite reducido por un factor de seguridad. El cual según Terzaghi recomienda que sea menor a 3, usualmente tomado como 2.5 [17].

$$q_{adm} = \frac{q_d}{F.S} \quad \text{Ec. 2}$$

d. Clasificación AASHTO

Sistema de clasificación introducido en el año 1929. Es usado especialmente por el diseño de carreteras y pavimentos. Se caracteriza por incluir los límites de Attemberg en la identificación de la calidad de suelos, desde A-1 a A-7. Los cuales son separados en dos grupos de acuerdo al porcentaje de agregado que pasa por el tamiz #200. Para un porcentaje mayor a 35% se considera suelo de mala calidad (A-4, A-5, A-6 y A-7); por el contrario, para un porcentaje menor al 35% se considera suelo de calidad regular a buena (A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-3) [18] [19].

e. Clasificación SUCS

Este sistema de clasificación consiste en asignar los suelos según su tipo y su característica granulométrica más resaltante. Pudiendo ser gravas “G”, arena “S”, limo “M”, arcilla “C” y suelo orgánico “O” [18].

f. Contenido de Humedad (%H)

Corresponde a la humedad superficial e interna que presenta un agregado, la cual se evapora secando la muestra. Es expresado en porcentaje (%) [20].

$$\%H = \frac{(W_{humedo} - W_{secoo})}{W_{secoo}} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

g. **Curva de Flujo**

Es la representación de la relación entre el número de golpes y el contenido de agua de la muestra de suelo. Se representa mediante una gráfica log-normal, en donde el eje horizontal de número de golpes es de escala logarítmica y el eje vertical aritmética el porcentaje de humedad [21].

h. **Densidad**

Es la relación entre la masa y el volumen de un material. Expresado como masa por unidad de volumen (kg/m³) [16].

i. **Densidad Relativa (Y_o o GE)**

La gravedad específica o densidad relativa es la relación entre la masa de un agregado cuyas partículas ocupan un determinado volumen con la masa de agua para el mismo volumen; es decir, la relación entre la densidad del agregado en función a la densidad del agua [22].

$$\gamma_o = \frac{m_{ms}}{m_{hss} - m_w} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde,

- m_{ms} = Masa de muestra seca
- m_{hss} = Masa de muestra húmeda superficialmente seca
- m_w = Masa del agua

j. Densidad Relativa Aparente

Es el peso específico del agregado sin contabilizar la porosidad de sus partículas [22].

k. Esfuerzo Neto (q_{neto})

Es el esfuerzo útil restante que queda después de restarle al esfuerzo admisible, los esfuerzos utilizados por el peso propio de la cimentación, la tierra de relleno y los acabados [17].

l. Gráfica Granulométrica

Es la representación de los porcentajes de material que pasa por los tamices normativos mediante una gráfica de log-normal, siendo el eje horizontal el que corresponde a una distribución logarítmica y el eje vertical el que corresponda a una escala natural [23].

m. Granulometría

Es un ensayo basado en el reconocimiento y medición de los suelos de acuerdo a sus propiedades, características estructurales y la distribución de sus partículas en función a su comportamiento como material sedimentario. Este análisis se realiza en base al porcentajes de presencia de gravas, arenas y finos; así como la forma de la curva que gráfica [24].

n. **Índice de Liquidez**

Es la magnitud en el ancho del rango de intervalos de humedades en donde el suelo se encuentra en su estado líquido. Indica la cercanía del fino al estado líquido [21].

$$IL = \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde,

- w_L = Límite Líquido
- w_p = Límite Plástico
- w_n = Humedad Natural

o. **Índice de Plasticidad**

Es la magnitud en el ancho del rango de intervalos de humedades en donde el suelo se encuentra en su estado plástico. Indica proximidad al límite plástico [21].

$$IP = w_L - w_p \quad \text{Ec. 6}$$

Donde,

- w_L = Límite Líquido
- w_p = Límite Plástico

p. Límites de Atterberg

Conocidos como límites de consistencia, permiten identificar la calidad del suelo. Se fundamentan en que los suelos finos presentan dos tipos de consistencias de acuerdo a las características de sus partículas y a su contenido de agua. Pudiendo estar en alguno de los siguientes estados: sólido, semisólido, plástico y líquido; los cuales son delimitados por los límites de retracción, límite plástico y límite líquido [21].

q. Límite Líquido

Es la frontera presente entre los estados plásticos y líquidos. Se obtiene al medir el valor de la humedad del suelo cuando la ranura vertical de 13 mm realizada en medio de la muestra se cierra a los 25 golpes [21].

r. Límite Plástico

Es el límite entre el estado semisólido y plástico, obtenido de la medición de la humedad perdida por la fractura en pequeños cilindros de 3mm de diámetro del material del suelo [21].

s. **Límite de Retracción**

Conocido también como límite de contracción, es la máxima humedad que puede contener una pastilla de muestra superficialmente seca, donde el agua ha llenado todos los espacios vacíos entre las partículas del suelo y cuyo volumen no disminuye ante una posible pérdida de agua [21].

t. **Tamaño Máximo (Da)**

Corresponde a la abertura del menor tamaño de malla por el que deja pasar la totalidad (100%) del agregado ensayado [25] [26].

u. **Tamaño Máximo Nominal (Dn)**

Es la abertura del tamiz inmediatamente menor a la abertura del tamaño máximo. Es decir el tamiz inferior al menor tamaño de malla por lo que pasa la totalidad del agregado [26].

2.2.1.2. Suelos Finos

Sigue el criterio estipulado para los suelos gruesos nombrando a los grupos por una combinación de dos nombres en base a la clasificación de Limos inorgánicos “M”, Arcillas inorgánicas “C” o Limos y arcillas orgánicas “O”, en combinación con su grado de compresibilidad pudiendo ser High Compressibility “H” o Low Compressibility “L” [27].

a. Grupos CL y CH

En este grupo se encasillan las arcillas inorgánicas, donde CL (Clay Low Compressibility) corresponde a las arcillas con un límite líquido menor a 50% y un índice plástico mayor al 7%. Y el grupo correspondiente a CH (Clay High Compressibility) presenta un límite líquido mayor al 50% [27].

b. Grupos ML y MH

En este grupo se encasillan las arcillas inorgánicas, donde ML corresponde a los limos con un límite líquido menor a 50% y un índice plástico mayor al 4%. Y el grupo correspondiente a MH, presenta un límite líquido mayor al 50% [27].

c. **Grupos OL y OH**

Los correspondientes a estos grupos son los mismos que ML y HL, pero con la diferencia que posee material orgánico, Estos grupos están siempre debajo de los valores de la línea “A” de la tabla de plasticidad [27].

2.2.1.3. **Suelos Gruesos**

Se clasifican en gravas “G” y arenas “S, nombrados por dos iniciales mayúsculas de las iniciales en inglés provenientes de la combinación del tipo de suelo con su nivel graduación [27].

a. **Grupo GW y SW**

GW (Gravel well graded) y SW (Sand well graded) corresponden a suelos bien graduados y con poco porcentaje de finos. No deben producir cambios apreciables en las características de resistencia de la fracción gruesa, ni interferir con su capacidad de drenaje [27].

b. **Grupo GP y SP**

GP (Gravel poorly graded) y SP (Sand poorly graded) son suelos mal graduados, con apariencia uniforme o que presentan predominio de un tamaño o de un margen de tamaños, faltando algunos intermedios en estos [27].

c. **Grupo GM y SM**

Con la inicial mayúscula M del sueco “mo” y “mjala”. En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación; es decir, no plásticos y con la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa [27].

d. **Grupo GC y SC**

La sigla “C” corresponde a “clay” indicando apreciable cantidad de finos plásticos. Para pertenecer a este tipo de suelos el contenido de finos deber ser mayor que 12% en peso. Y por las mismas razones expuestas para los grupos GM y SM. Aunque en este caso los finos son de media a alta plasticidad [27].

2.2.2. Diseño Estructural de Edificaciones

2.2.2.1. Acero de Refuerzo

Son barras de acero con resaltes o corrugaciones que impiden el movimiento longitudinal, dando una mejora adherencia entre el acero y el concreto. Deberán seguir las especificaciones de las normas ASTM A-615, así como también las dimensiones estandarizadas por fábrica [28].

2.2.2.2. Concreto Reforzado

Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima acero establecida por diseño [28].

2.2.2.3. Concreto Simple

Concreto estructural sin armadura de refuerzo o con menos refuerzo del mínimo especificado para el concreto reforzado [28].

2.2.2.4. Cuantía de Acero (ρ)

Es el porcentaje de área de acero aplicado en una sección de concreto [29].

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} \quad \text{Ec. 7}$$

2.2.2.5. Cuantía de Acero Balanceada (ρ_b)

Es el porcentaje correspondiente al acero requerido por una sección de concreto con falla balanceada [30].

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_y} * \left(\frac{6300}{6300 + f_y} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

2.2.2.6. Cuantía de Acero Mínima ($\rho_{\text{mín}}$)

Es una condición en la que al menos a la sección de concreto se le debe implementar un área de acero capaz de soportar al menos el momento de agrietamiento mayorado por 1.20. El valor de la cuantía mínima está dada por la siguiente expresión del acero mínimo [29] [31].

$$As_{\text{mín}} = \frac{0.70 * \sqrt{f'_c}}{F_y} * bw * d \quad \text{Ec. 9}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70 * \sqrt{f'_c}}{F_y} \quad \text{Ec. 10}$$

2.2.2.7. Cuantía de Acero máxima (ρ_{max})

Es la cuantía de acero máxima en donde se consiguen el equilibrio entre la máxima resistencia que soporta y asegurar que el acero fluya antes que el concreto falle [29] [31].

$$\rho_{\text{max}} = 0.75 * \rho_b \quad \text{Ec. 11}$$

2.2.2.8. Diagrama de Interacción

Es la curva de resistencia en un diagrama $P_u - M_u$, en donde el eje vertical corresponde a las cargas axiales y el eje horizontal a los momentos flectores, obtenida mediante el desplazamiento del eje neutro para distintos casos de falla. Es utilizado para el análisis a flexo-compresión [32].

2.2.2.9. Distancia al Eje Neutro (c)

Es la distancia de la fibra extrema a compresión hacia el eje neutro [33]

2.2.2.10. Eje Neutro

Es el eje central contenido en la sección transversal de un elemento cuando es sometido a flexión pura. Se caracteriza por que sus fibras se mantienen planas y normales aun cuando el elemento está deformado [34].

2.2.2.11. Elementos Estructurales

Elementos de la construcción nombrados en base al material del que están hechos y tienen la capacidad de soportar las fuerzas provocada por sismos, así como las fuerzas de gravedad proveniente de la misma estructura [35]

2.2.2.12. Módulo de Young (E)

Módulo de Elasticidad o de Young, es la constante de proporcionalidad entre la deformación y el esfuerzo aplicado sobre un material [36].

2.2.2.13. Momento de Agrietamiento

Es el momento máximo que soporta la sección de concreto antes de agrietarse. Es el límite que separa la resistencia de la sección agrietada y la no agrietada [30].

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{Y_t} \quad \text{Ec. 12}$$

2.2.2.14. Peralte Efectivo (d)

Corresponde a la distancia entre el centroide del acero a tracción hasta la fibra más alejada a compresión [37].

2.2.2.15. Rango Elástico

Es aquel en donde se produce la deformación elástica. Cuando un cuerpo se deforma ante la aplicación de una carga constante y que regresa a su forma original cuando las cargas desaparecen. Las propiedades no varían de un punto a otro. Está relacionado con la rigidez inicial (K_1) [38].

2.2.2.16. Rango Plástico

Es aquel en donde se produce la deformación plástica. Cuando un cuerpo se deforma ante la aplicación de una carga constante y no regresa a su forma original cuando las cargas desaparecen. No hay linealidad en sus propiedades. Está relacionado con la rigidez post-fluencia (K_2 o K_d). [38]

2.2.2.17. Fluencia

Es la deformación progresiva de los materiales sometidos a esfuerzos constantes. Suele ocurrir en largos periodos de tiempo [39].

2.2.2.18. Resistencia de agrietamiento

Es la resistencia de la sección de concreto a fallar por flexión [30].

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. 13}$$

2.2.2.19. Resistencia a la Compresión (f'_c)

Es la prueba de desempeño más habitual para el concreto en elementos estructurales. Evalúa el cumplimiento de la resistencia del concreto ante la aplicación de cargas axiales a compresión [40].

2.2.2.20. Resistencia a la Fluencia (F_y)

La fuerza de fluencia del acero, es el estado en donde el material presenta un aumento brusco en la deformación sin que el esfuerzo que la produzca crezca. Es el primer punto del diagrama esfuerzo – deformación en donde la tangente de la curva es horizontal [41].

2.2.3. Esfuerzos de Diseño

2.2.3.1. Compresión Simple

Surge cuando en un elemento longitudinal homogéneo se aplican cargas axiales paralelas al eje del elemento, en sentidos contrarios provocando acortamiento [42].

2.2.3.2. Cortante

El cortante es el esfuerzo que produce deformación angular sobre un elemento. En vigas es la sumatoria de fuerzas perpendiculares al eje que actúan a ambos lados de la sección analizada, tienden a separar las partes del elemento estructural estudiado. Cuando la cortante es positiva la parte a la izquierda de la sección sube con respecto a la parte izquierda [43] [44].

2.2.3.3. Flexión Pura

El esfuerzo por flexión pura se produce cuando a una viga se le aplica dos fuerzas iguales y opuestas en los extremos, deformando longitudinal al elemento provocando que falle. Además, dentro de la longitud de la viga las secciones transversales se mantienen planas aún después de la deformación. Se da cuando el único esfuerzo actuante es el momento [45] [46].

2.2.3.4. Flexión Simple

Es la deformación de la viga provocada por el par de fuerzas o momento, pero incluyendo la presencia de fuerzas cortantes [46].

2.2.3.5. Torsión Simple

Es producido por la reducción de fuerzas en un lado del elemento, provocando una culpa en el mismo plano de la sección [47].

2.2.3.6. Tracción Simple

Surge cuando en un elemento longitudinal homogéneo se aplican cargas axiales paralelas al eje del elemento, en sentido contrarios provocando un estiramiento [42].

2.2.4. Comportamiento Estático — Dinámico

2.2.4.1. Ley de Hooke

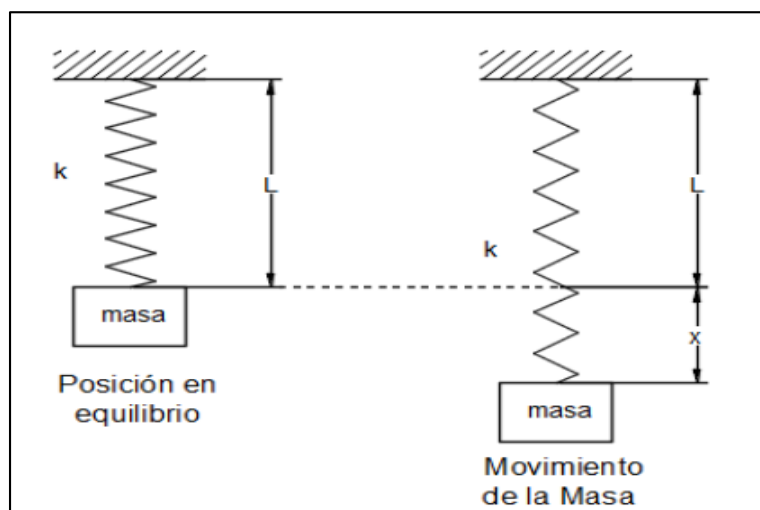
En un sistema masa – resorte, distintas masas unidas en el extremo de un resorte producirán deformaciones distintas y a su vez fuerza restauradoras distintas en el sentido opuesto y proporcional a la elongación del resorte. Siendo k una constante de proporcionalidad conocida como el coeficiente de elasticidad del resorte [48].

$$F = kx \quad \text{Ec. 14}$$

Donde,

- F = Fuerza Restauradora (N)
- k = Coeficiente de Elasticidad
- x = Elongación (m)

Imagen N° 2 – Comportamiento de un sistema masa – resorte



Fuente: R. Durazo

2.2.4.2. Modos de Vibración

Relacionado con los grados de libertad de movimiento de la edificación, la cual es la deformación producida por las frecuencias naturales de la estructura analizada [49].

2.2.4.3. Movimiento Armónico Simple

Es un sistema matemático en donde en donde el movimiento vibratorio puede ser expresado mediante funciones senoidales o cosenoidales. Es el más simple de los movimientos armónicos. La velocidad del cuerpo analizado se desplaza con una aceleración no uniforme, que varía de manera proporcional al espacio desplazado y de signo opuesto [50].

2.2.4.4. Segunda Ley de Newton

Donde el balance de fuerzas dentro de un sistema es equivalente a la masa del cuerpo por la aceleración del mismo, considerando que el amortiguamiento en un ambiente ideal es nulo y no existe fuerzas externas que lo perturben como se describe en **Ecuación 15**.

Sin embargo en un caso real, el desplazamiento de la masa unida al resorte se ve afectada por fuerzas retardadoras en el sentido opuesto al alargamiento o en lo consecuente un coeficiente de amortiguamiento, modificación **Ecuación 15** quedando como **Ecuación 16** [51].

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad \text{Ec. 15}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde,

- m = Masa
- k = Coeficiente de Elasticidad
- x = Elongación (m)
- b = Amortiguamiento

De **Ec. 16** al retirar la masa de la ecuación se puede reagrupar de la siguiente forma.

$$r^2 + 2\lambda r + \omega^2 = 0 \quad \text{Ec. 17}$$

2.2.4.5. Sistema críticamente amortiguado

En este estado, la estructura se mantiene estático pero cualquier variación en el coeficiente de amortiguamiento provocaría que el sistema sea sobreamortiguado o subamortiguado. Lo que significa que al desplazarse la masa regresará a su posición inicial sin oscilar [51].

$$\lambda^2 - \omega^2 = 0 \quad \text{Ec. 18}$$

Las soluciones de este sistema se presentan a continuación, reemplazando las constantes r_1 y r_2 por $-\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}$ y $-\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}$ respectivamente [51].

$$x(t) = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} \quad \text{Ec. 19}$$

$$x(t) = e^{-\lambda t} (c_1 + c_2 t) \quad \text{Ec. 20}$$

2.2.4.6. Sistema Sobreamortiguado

Es el primer caso posible de respuesta para la ecuación del sistema masa – resorte donde el coeficiente de amortiguamiento es mayor que el de elasticidad del resorte k , lo que se resume en un valor de amortiguamiento excesivamente alto capaz de evitar que el movimiento armónico se realice [51].

$$\lambda^2 - \omega^2 > 0 \quad \text{Ec. 21}$$

Las soluciones de este sistema se presentan a continuación, reemplazando las constantes r_1 y r_2 por $-\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}$ y $-\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}$ respectivamente [51].

$$x(t) = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} \quad \text{Ec. 22}$$

$$x(t) = c_1 e^{\sqrt{\lambda^2 - \omega^2} t} + c_2 e^{-\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega^2} t} \quad \text{Ec. 23}$$

2.2.4.7. Sistema subamortiguado

El coeficiente de amortiguamiento es menor al elástico en este caso, por lo que la masa al ser liberada oscilará hasta regresar a su posición de inicio [51].

$$\lambda^2 - \omega^2 < 0 \quad \text{Ec. 24}$$

Por lo que las soluciones de este sistema serán raíces complejas conjugadas, reemplazando las constantes r_1 y r_2 por $-\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}i$ y $-\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega^2}i$ respectivamente [51].

$$x(t) = e^{-\lambda t} \left(c_1 \cos \sqrt{\omega^2 - \lambda^2} t + c_2 \sen \sqrt{\omega^2 - \lambda^2} t \right) \quad \text{Ec. 25}$$

Donde el coeficiente e con exponente negativo indica un decrecimiento de la amplitud de la onda de vibración en función al tiempo.

2.2.5. Análisis Sísmico

2.2.5.1. Análisis Dinámico

Es la evaluación de la acción sísmica en base a la combinación modal espectral, considerando las condiciones de rigidez e inercia de la edificación; Ante el efecto del espectro de pseudo-aceleraciones en cada dirección horizontal estudiada. Los valores de aceleración del espectro irán cambiando de acuerdo al crecimiento del periodo.

$$Sa = \frac{Z * U * C * S}{R} * g \quad \text{Ec. 26}$$

Donde,

- Sa = Espectro de pseudo-aceleraciones
- Z = Factor de zonificación
- U = Factor de categoría de la edificación
- C = Factor de amplificación sísmica
- S = Factor de tipo de suelo
- R = Factor de reducción sísmica
- g = Aceleración de la gravedad

2.2.5.2. Análisis Estático

Es el análisis de la acción sísmica mediante fuerzas actuantes distribuidas sobre el centro de masa de cada entrepiso en la edificación. Este tipo de análisis es compatible con todas las estructuras regulares e irregulares que se encuentren en la zona sísmica 1. Siempre y cuando, no superen los 30 metros de altura libre o 15 metros en estructuras de muros portantes de albañilería.

2.2.5.3. Fuerza Cortante Basal

En el análisis estático, se refiere a la fuerza cortante total aplicada en la base de la estructura en la dirección de estudio. Este valor depende de la ubicación, condiciones del terreno y características de la edificación. Además, corresponde a la sumatoria de las cortantes distribuidas por entrepiso en la dirección opuesta.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P \quad \text{Ec. 27}$$

Donde,

- V = Fuerza cortante basal
- Z = Factor de zonificación
- U = Factor de categoría de la edificación
- C = Factor de amplificación sísmica
- S = Factor de tipo de suelo
- R = Factor de reducción sísmica
- P = Peso de la edificación

2.2.6. Peligrosidad Sísmica

2.2.6.1. Intensidad Sísmica

Es medido por escalas macrosísmicas que evalúan los efectos de un sismo sobre la población. Es una magnitud subjetiva cualitativa, la cual varía dependiendo de la localización analizada respecto al epicentro del movimiento [52].

2.2.6.2. Magnitud Sísmica

Propuesto por Richter en 1935, corresponde a la amplitud máxima de onda ocasionada por el sismo medido por un acelerógrafo a un máximo de 100 km del epicentro. La cuál actualmente considera la medición de las ondas internas y externas. Sin embargo, esta no mide la energía disipada por el movimiento si no que el periodo o frecuencia anexa a él [52].

2.2.6.3. Vida útil

Es el periodo de tiempo analizado en el que la estructura se encuentra expuesta a los movimientos sísmicos [52].

2.2.6.4. Vulnerabilidad sísmica

Es la tendencia de las estructuras o de un casco urbano a sufrir daños inevitablemente, relacionado a la disposición de sus características físicas y materiales. Es un valor cualitativo [52].

2.2.6.5. Peligrosidad Sísmica

Medido como probabilidad de excedencia, es la posibilidad que cierto límite sísmico ya sea intensidad u otras unidades de medición sean superadas durante el periodo de exposición de la estructura. Dentro del periodo de retorno evaluado (PR). Donde PA corresponde a la probabilidad anual [53].

$$Probabilidad\ de\ Excedencia = 1 - (1 - PA)^t \quad \text{Ec. 28}$$

$$PA = \frac{1}{PR} \quad \text{Ec. 29}$$

2.2.6.6. Riesgo sísmico

Corresponde al grado de daños económicos y pérdidas producidas en las edificaciones durante la ocurrencia de un movimiento sísmico, durante un lapso de tiempo esperado. Se miden en unidades probabilísticas [53].

$$Riesgo = P * Vul * V.E \quad \text{Ec. 30}$$

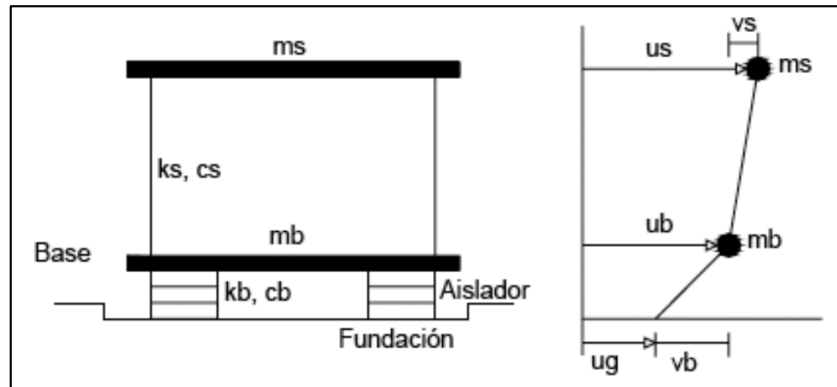
Donde,

- P = Peligrosidad
- Vul = Vulnerabilidad
- $V.E$ = Valor Económico

2.2.7. Sistema de Aislación

Es un sistema de protección sísmica fundamentado en la colocación de unidades de aislación bajo los puntos de soporte de la edificación, separándola de la acción del suelo debido al espaciamiento y diferencia de rigideces.

Imagen N° 3 – Modelo del desplazamiento de un sistema aislado



Fuente: J. Chumpitaz (2017)

Se representa mediante un modelo estructural de dos grados de libertad en donde m_s y m_b son la masa de la superestructura y subestructura respectivamente. Siguiendo este criterio, la rigidez y el amortiguamiento de la estructura están representadas por K_s , C_s , al igual que la rigidez y el amortiguamiento del aislador por K_b , C_b . Adicionalmente, los desplazamientos relativos de ambas masas quedan dados como u_s para la superestructura y u_b para la subestructura, con u_g como el desplazamiento del sistema completo. Por lo que los desplazamientos absolutos serán dispuestos como la diferencia entre los desplazamientos relativos con el desplazamiento u_g [54].

$$U_b = u_b - u_g \quad \text{Ec. 31}$$

$$U_s = u_s - u_b \quad \text{Ec. 32}$$

Por lo que siguiendo los parámetros dados en la segunda ley de newton, el comportamiento oscilatorio de la edificación con el sistema aislado puede ser expresado según lo descrito en **Ecuación 34** respecto a la superestructura y **Ecuación 36** en función a la subestructura [54].

$$m_s u_s + c_s (u_s - u_b) + k_s (u_s - u_b) = 0 \quad \text{Ec. 33}$$

$$m_s \ddot{U}_s + m_s \ddot{U}_b + c_s \dot{U}_s + k_s U_s = -m_s \ddot{U}_g \quad \text{Ec. 34}$$

$$m_s u_s + m_b u_b + c_b v_b + k_b v_b = 0 \quad \text{Ec. 35}$$

$$(m_s + m_b) \ddot{U}_b + m_s \ddot{U}_s + c_b \dot{U}_b + k_b U_b = -(m_s + m_b) \ddot{U}_g \quad \text{Ec. 36}$$

Donde,

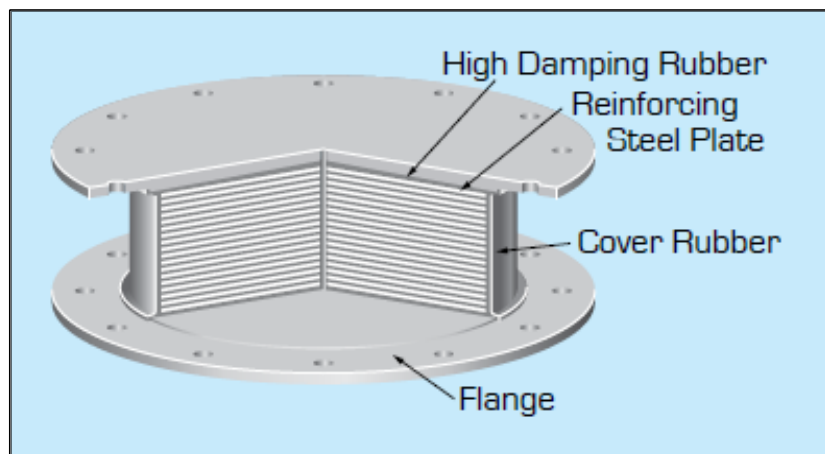
- m_s = Masa de superestructura
- m_b = Masa de subestructura
- u_s = Desplazamiento relativo de superestructura
- u_b = Desplazamiento relativo de la subestructura
- c_s = Amortiguamiento de la superestructura
- c_b = Amortiguamiento de la subestructura
- k_s = Rígidez de la superestructura
- k_b = Rígidez de la subestructura

2.2.7.1. Aislador HDRB

Los “High Damping Rubber Bearing” o aisladores de alto amortiguamiento son estructuras de goma laminado compuesto de fibras especiales para proveer capacidad de absorción de energía., combinando las características de amortiguamiento y disipación en un aislador. Son unidades de aislación ideales para espacios reducidos, capaces de soportar cargas verticales permanentes o accidentales con bajo desplazamientos. Modificando el periodo fundamental de la edificación a niveles seguros, las variaciones de sus curvas histeréticas son suaves [55].

La unidad está conformada por capas intercaladas de goma de alto amortiguamiento y platos de acero apilados en forma de una columna cilíndrica y sellada con una capa de caucho. Siendo rodeado delimitado en la parte superior e inferior por bridas de acero de un diámetro superior al del aislador.

Imagen N° 4 – Componentes de un aislador HDRB

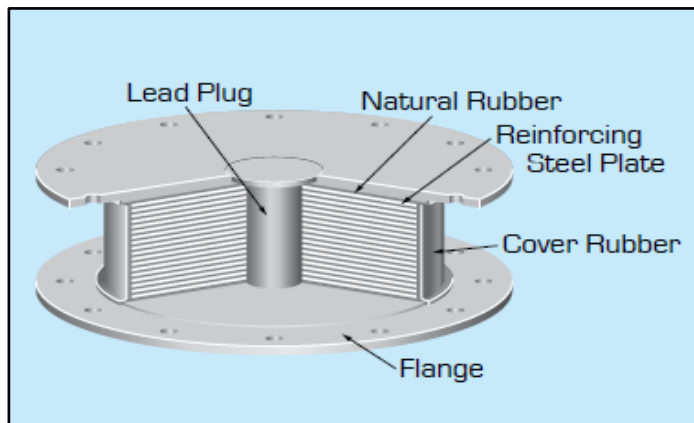


Fuente: BridgeStone (2017)

2.2.7.2. Aislador LRB

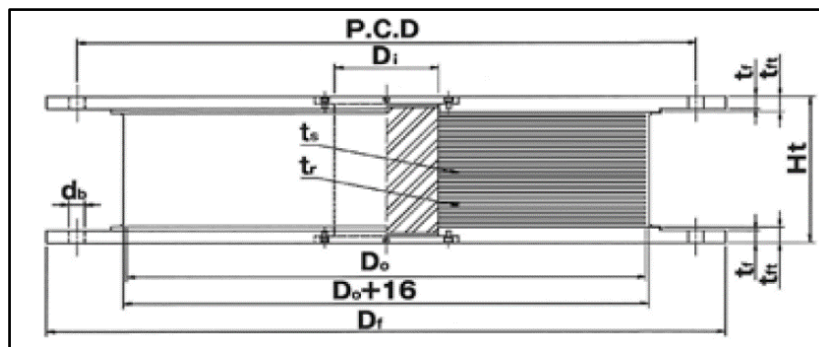
Los “Lead Rubber Bearing” o aisladores de núcleo de plomo, son unidades de aislación diseñados con un núcleo de plomo insertado en el centro de la estructura de goma laminada, de manera que la goma aporte las características de un resorte mientras que el núcleo aporte con las propiedades de amortiguamiento. Por lo que su composición permite aumentar su porcentaje de amortiguamiento a un 30% y gracias a la disipación de energía es capaz de reducir los desplazamientos horizontales en la edificación. [55] [56].

Imagen N° 5 – Componentes de un aislador LRB



Fuente: Bridgestone (2017)

Imagen N° 6 – Corte Transversal de un aislador HDRB

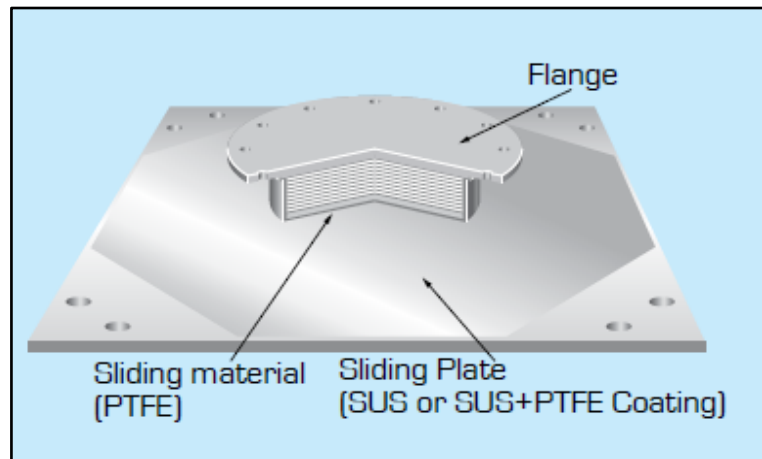


Fuente: Bridgestone (2017)

2.2.7.3. Aislador Elástico Deslizante

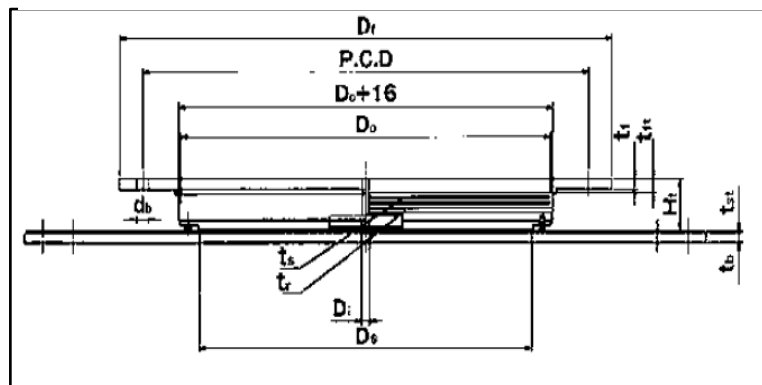
“Slidings” o deslizadores son unidades formadas por dos componentes, un amortiguador de goma natural unido a una lámina de teflón y una brida de acero inoxidable. La goma que lo compone es capaz de absorber los pequeños desplazamientos, por lo que los desplazamientos grandes serán disipados por efectos de núcleo de goma deslizándose sobre la brida. Además, debido a que no posee fuerza restauradora es usado en conjunto con otras unidades de aislación [55].

Imagen N° 7 – Componentes de un aislador deslizante o deslizador



Fuente: Bridgestone (2017)

Imagen N° 8 – Corte transversal de un deslizador



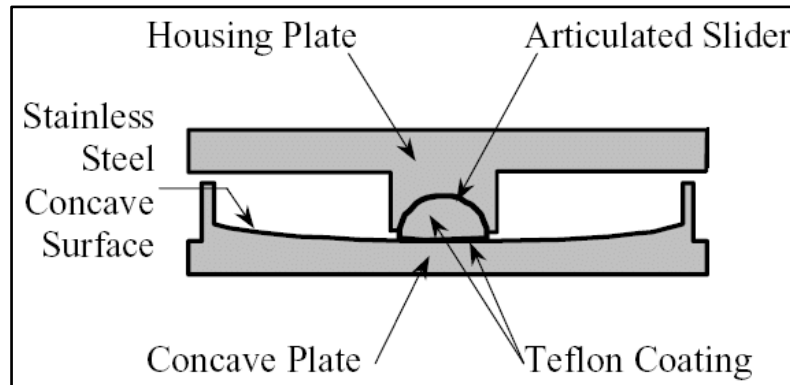
Fuente: Bridgestone (2017)

2.2.7.4. Aislador Péndulo Friccional Simple

Friccional Pendulum Bearing o FPS, es un aislador que sigue la teoría del péndulo simple, en donde el periodo de oscilación dependerá de la curvatura de las bridas sin que la masa de la estructura genera impacto en su comportamiento. Por lo que la disipación de energía se da por la fricción causada en el desplazamiento de las bridas deslizantes.

Los FPS están compuesto por dos bridas, uno inferior cóncavo y otro plano y superior. En medio de ambos hay un núcleo de teflón revestido anclado al centro del plato superior, como se muestra en la **Imagen N° 9** [57] [58].

Imagen N° 9 – Componentes de un aislador FPS



Fuente: FIP (2017)

2.2.8. Comportamiento Histerético del Sistema de Aislación

2.2.8.1. Desplazamiento Máximo (D_M)

Es el desplazamiento lateral del centro de rigidez del sistema de aislación, provocado por el movimiento del terreno para las condiciones del sismo máximo de diseño considerado. Indica el límite de espaciamiento que como mínimo el sistema debe respetar en su configuración. El espacio para la libertad de movimiento de la edificación no puede ser menor a este valor de desplazamiento [59].

2.2.8.2. Desplazamiento Máximo Total (D_{MT})

Es el desplazamiento lateral del sistema de aislación mayorado por el efecto de la torsión real y accidental de la distribución de la rigidez lateral en las unidades de aislación, para la posición más desfavorable del centro de masa [59].

2.2.8.3. Desplazamiento por Fluencia (D_y)

Es el desplazamiento del centro de rigidez del sistema aislado en el punto de fluencia efectiva. Está relacionado con la rigidez inicial (K_1) [59].

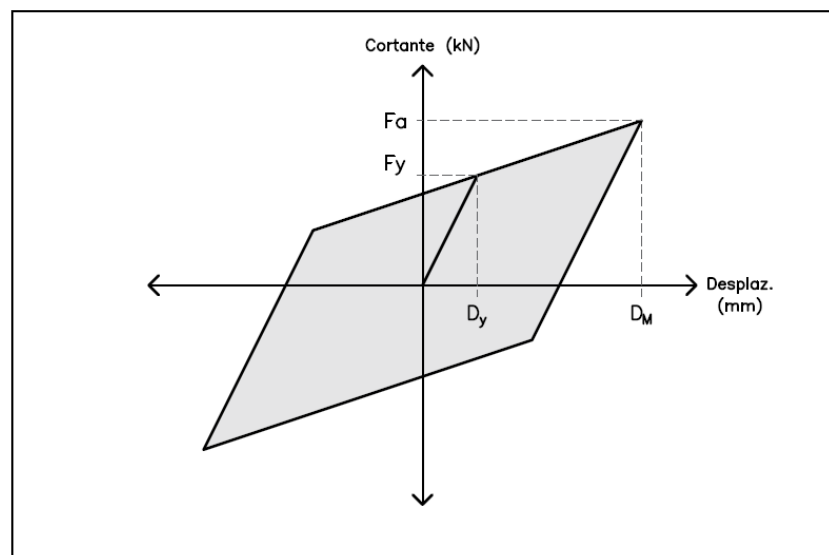
2.2.8.4. Factor de Modificación de Propiedades (λ)

Son factores usados para la consideración de la variación de los parámetros nominales de diseño de cada tipo de aislador por efectos del calentamiento por movimiento del ciclo dinámico, por el ratio de carga, el efecto “scragging” y recuperación de la rigidez, desgaste por el tiempo, temperatura, exposición al medio ambiente y contaminación. Los factores de modificación se dividen en mínimo y máximo [59].

2.2.8.5. Fuerza en el Asiento de Apoyo (F_a o F_M)

Es la fuerza cortante que produce el desplazamiento máximo del aislador en el diagrama de ciclo histerético [59].

Imagen N° 10 – Fuerza en el asiento de apoyo en el comportamiento histerético

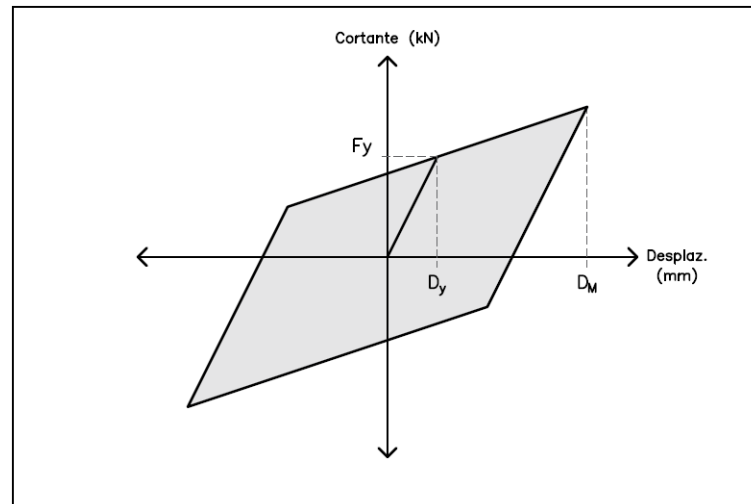


Fuente: Propia

2.2.8.6. Fuerza de Fluencia (F_y)

Propiedad del comportamiento histerético relacionado con el desplazamiento por fluencia. Es la fuerza cortante máxima que soporta el aislador antes de pasar a la fluencia [59].

Imagen N° 11 – Fuerza y desplazamiento por fluencia



Fuente: Propia

2.2.8.7. Propiedades del Límite Inferior

Conocido como límite inferior, viene del inglés “Lower Bounding Properties”. Son las propiedades mínimas en el rango de comportamiento histerético, que una unidad de aislación debería presentar en su ciclo de deformación [59].

2.2.8.8. Propiedades del Límite Superior

Conocido como límite superior, viene del inglés “Upper Bounding Properties”. Son las propiedades máximas en el rango de comportamiento histerético, que una unidad de aislación debería presentar en su ciclo de deformación [59].

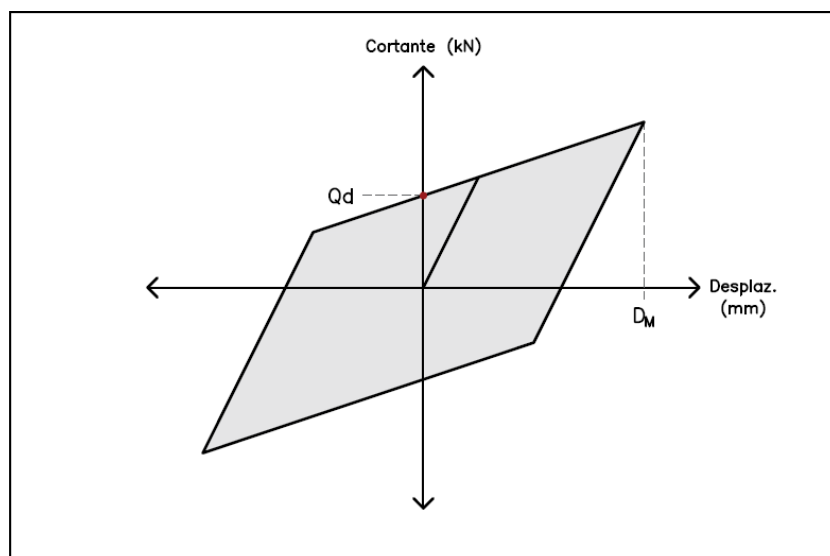
2.2.8.9. Ratio de Amortiguamiento Efectivo (H_{eq} o β_M)

Es el valor del amortiguamiento viscoso equivalente producida por la energía disipada durante el ciclo de respuesta histerético del sistema aislado [59].

2.2.8.10. Resistencia Característica (Q_d)

Es una de los parámetros del ciclo histerético. Es aquella definida como la resistencia sobre la cual se espera que el material falle. [60] La resistencia característica está relacionada con la fuerza de fluencia del núcleo del aislador o el coeficiente de fricción en aisladores deslizantes; ya que a mayor valor de resistencia característica el aislador permanece por más tiempo en el rango elástico lo que produce menor flexibilidad en la estructura. En el diagrama de interacción es la fuerza cortante para un desplazamiento nulo [61].

Imagen N° 12 – Resistencia características del comportamiento histerético

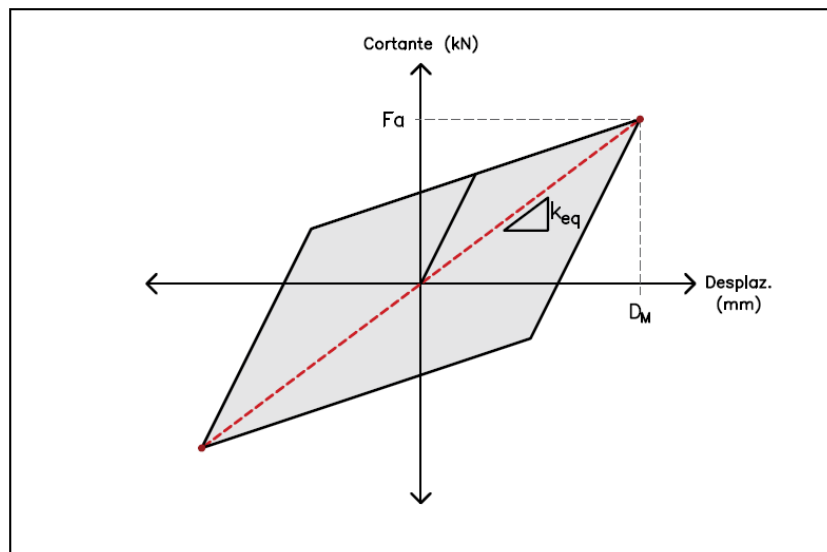


Fuente: Propia

2.2.8.11. Rigidez Equivalente (K_{eff} o K_{eq})

La rigidez efectiva o equivalente es la resistencia del aislador a deformarse. Resulta de la división de fuerza lateral en el sistema de aislación con el desplazamiento correspondiente [55]. En el diagrama del ciclo histerético, la rigidez equivalente corresponde a la pendiente de la fuerza aplicada en el apoyo (F_a) y el desplazamiento Máximo del aislador (D_M).

Imagen N° 13 – Rigidez equivalente del comportamiento histerético

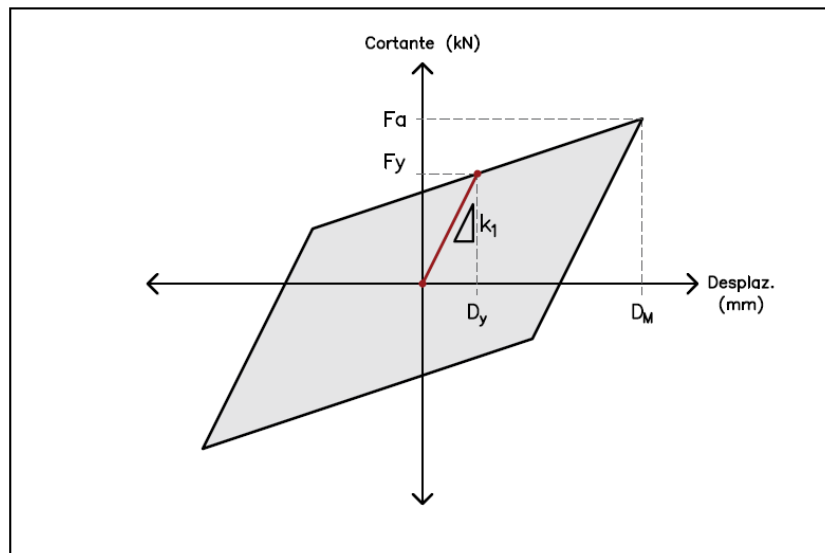


Fuente: Propia

2.2.8.12. Rigidez Inicial (K_1)

La rigidez elástica es una de las características histeréticas del sistema de aislación. Es la resistencia del aislador a deformarse cuando las fuerzas actúan en el rango elástico. En el diagrama del ciclo histerético, la rigidez elástica o inicial corresponde a la pendiente de la fuerza de fluencia (F_y) y el desplazamiento por fluencia (D_y) [55].

Imagen N° 14 – Rigidez inicial en el comportamiento histerético

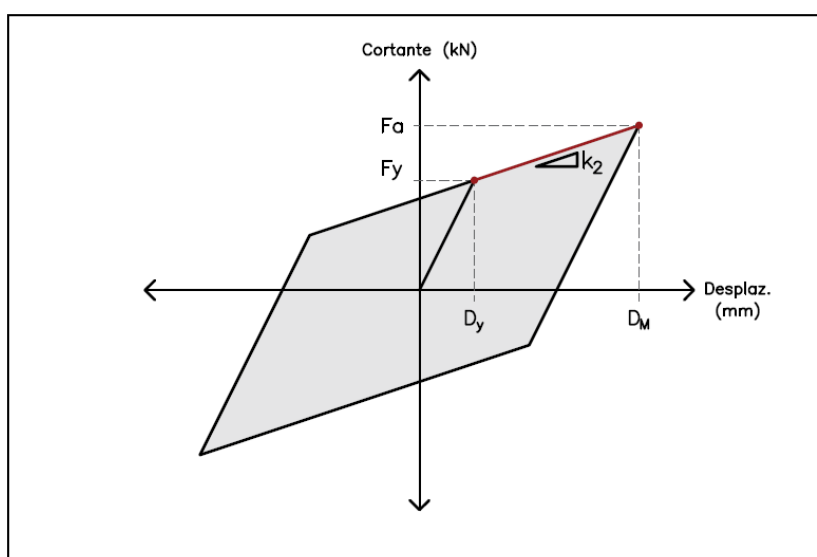


Fuente: Propia

2.2.8.13. Rigidez Post-Fluencia (K_2 o K_d)

La rigidez post-fluencia, del inglés “postyield stiffness”, es la resistencia a la deformación en el rango plástico cuando el aislador ha pasado la fluencia. En el diagrama de los ciclos histeréticos, corresponde a la pendiente entre el desplazamiento por fluencia (D_y) y el desplazamiento máximo (D_M) [55].

Imagen N° 15 – Rigidez de post fluencia en el comportamiento histerético



Fuente: Propia

2.2.8.14. Rigidez Vertical (K_v)

Es la resistencia a la compresión ante la aplicación de una carga axial que produce desplazamiento vertical. Valor que resulta de la combinación del desplazamiento vertical inicial y el añadido producido por la acción del desplazamiento vertical [62].

2.2.8.15. Scragging

El efecto scragging o efecto de Mullins, es la disminución de la rigidez provocado por la deformación aplicada en las primeras etapas de carga del ciclo histerético. Esta alteración modifica las propiedades histeréticas del aislador hasta que el comportamiento se estabilice [63].

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Nivel de investigación

Según su propósito, la presente investigación es considerada de tipo aplicada. Ya que los conceptos, procedimientos y metodologías recolectados de las distintas normativas, fueron implementadas para el diseño de los sistemas de aislación sísmica seleccionados. Orientando el desarrollo en evaluar la posibilidad de implementación en edificaciones comunes como son las viviendas multifamiliares en las limitadas condiciones de terreno de la ciudad de Chiclayo. Debido a que hasta el momento las mencionadas tecnologías han sido reservadas para contadas construcciones esenciales.

De acuerdo al nivel de profundización, el presente estudio es considerado de carácter descriptivo. Cada uno de los puntos tratados a continuación, describen paso a paso los cálculos y criterios facilitados por las normativas para el diseño de los sistemas de aislación. Así como los requerimientos y evaluaciones previas necesarias para el análisis del comportamiento sísmico de cada caso de aislación, indican los resultados de sus respectivos diseños estructurales, desplazamientos y resistencias. Comparando cada caso expuesto.

3.2. Diseño de investigación

La investigación sigue las condiciones del diseño cualitativo. El diseño del sistema de aislación y elemento estructurales se basan en resultados numéricos como dimensiones y metrado de volúmenes estructurales. Al igual que la comparación de los desplazamientos que presenta cada sistema ante fuerzas horizontales de sismo.

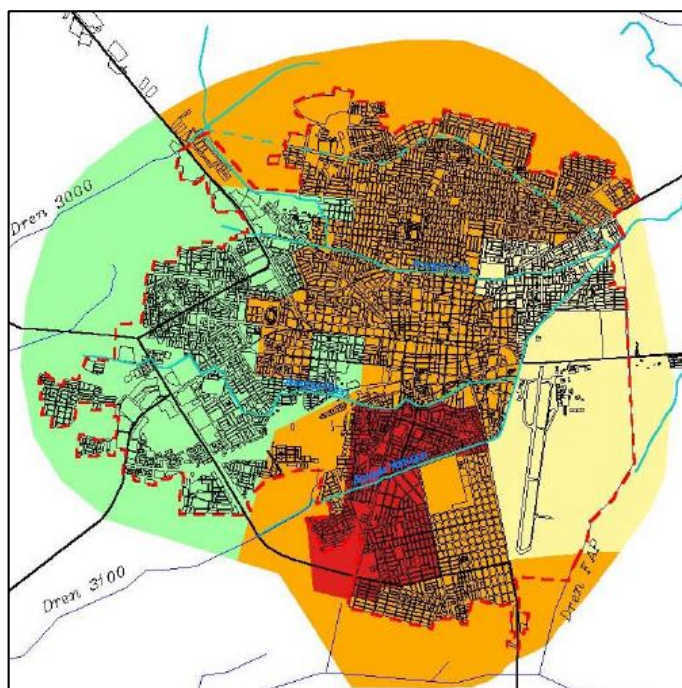
3.3. Población, muestra, muestreo

La población de estudio corresponde a las típicas edificaciones multifamiliares construidas en la ciudad de Chiclayo-Lambayeque. Ubicadas en el noroeste del territorio peruano y siendo consideradas la cuarta ciudad más importante del país con un total de 872.3 miles de habitantes, distribuidas en 221.9 miles de viviendas [64].

La morfología de las construcciones son variadas formando una trama urbana de apariencia irregular, no solo en su apariencia si no que en su constitución estructural. Estando asentadas en suelos con igual de diversas propiedades mecánicas lo que convierte en un reto el hecho de construir en la ciudad. En especial, debido a que gran parte de las viviendas no cumplen con los requisitos mínimos de diseño antisísmico, es construido bajo malos procesos constructivos o son de material noble; a diferencia de las los edificios multifamiliares de los cuales se espera que resistan sismo considerados severos. Sin embargo, las dos calidades de construcciones a pesar de sus diferencias y en distintas medidas son propensas a fallar ante la eventualidad de un sismo que termine con el silencio sísmico que ha tenido la ciudad durante más de 150 años. [65].

Además los suelos en la ciudad de Chiclayo están divididos por zonificaciones de acuerdo a su composición, tipología y resistencia admisible, siendo cuatro en total como se ve en la **Imagen N° 16**. Donde el área verde corresponde a la zona I, el área amarilla a la zona II, el área naranja a la zona III y el área roja a la zona IV.

Imagen N° 16 – Sectorización de suelos en Chiclayo (Población de estudio)



Fuente: INDECI (2003)

La muestra seleccionada corresponde a las viviendas multifamiliares tradicionales construidas en la zona I de la zonificación. Con una constitución a base de arcilla, arena y grava que permiten obtener capacidades portantes de entre 1 a 2 kg/cm². Estas condiciones permiten aumentar las posibilidades de éxito en la implementación de los sistemas de protección sísmica en la base de las construcciones, de los cuales se evaluará su respuesta y comportamiento con la finalidad de determinar cuál es el más adecuado para esa realidad.

El muestreo se realizó evaluando un edificio multifamiliar tradicional de cinco niveles de distribución alargada el cual pasó por dos procesos de diseño estructural, uno para el caso de estructura fija en la base y la otra orientada para su uso como superestructura del sistema de aislación. A ambos casos se le sometió, mediante software, a cargas horizontales del tipo estático, dinámico y oscilaciones del tipo historia de respuesta.

3.4. Criterios de selección

Debido a que en el Perú las tecnologías de protección sísmica son una metodología reciente, actualmente están reservadas estrictamente a edificaciones categorizadas como esenciales; salvo excepciones de aquella inmobiliarias que deciden por incursionar en el aislamiento sísmico para multifamiliares de gran altura. Todos esos siendo proyectos que únicamente se está implementando en la capital.

Tipo de suelo. La ciudad de Chiclayo presente una de la más desventajosa y variada distribución de la tipología de suelos. Sus propiedades mecánicas, así como las bajas resistencias de capacidad portante a lo largo del territorio permiten tener una idea de las posibles condiciones a encontrar en otras ciudades del país para la implementación de las tecnologías antisísmicas.

Edificio Multifamiliar. Como consecuencia del crecimiento de la población en un límite espacio en el que expandirse, las viviendas han tenido a crecer de manera vertical provocando que el modelo de las edificaciones multifamiliares aumente su presencia en el caso urbano. Debido a esto, como objeto de investigación se optó por tomar un multifamiliar promedio de cinco niveles y distribución tradicional para una mejor representación.

Sistema de Aislación. Entre las tecnologías de protección sísmica se escogieron los de mayor presencia en el mercado, recalcando sus rendimientos y capacidades de disipación de energía. Entre estos destacan los aisladores de tipo HDRB, LRB y FPS, los cuales tienen una reputación ya ganada por su eficacia en anteriores proyectos por su capacidad de adaptación.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla N° 3 – Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
Variable	Tipo	Definición	Dimensión	Indicador	Items
Diseño Estructural	Cuantitativa	Diseño y dimensiones de elementos estructurales	Estructura Convencional	Platea de Cimentación Vigas de Cimentación Columnas Vigas Losa Aligerada Losa Maciza Escalera	Sección de Concreto
			Estructura Aislada Superestructura	Pedestal Superior Losa de Aislamiento Vigas de Aislamiento Columnas Vigas Losa Aligerada Losa Maciza Escalera	Dimensiones de Elementos
			Estructura Aislada Subestructura	Platea de Cimentación Vigas de Cimentación Pedestal Superior	Distribución de Acero
Comportamiento Histerético	Cuantitativa	Desarrollo de propiedades y resistencias que presentan los sistemas ante fuerzas horizontales de Sismo	Estructura Convencional	Periodo Desplazamientos Esfuerzos	Periodo Fundamental Análisis Estático Análisis Dinámico Peso de Edificación Fuerzas Horizontales
			Estructura Aislada HDRB	Periodo	Periodo Efectivo Límite Inferior
			Estructura Aislada LRB	Desplazamientos	Periodo Efectivo Límite Superior Análisis Estático Límite Inferior Análisis Estático Límite Superior Análisis Dinámico Límite Inferior Análisis Dinámico Límite Superior Análisis T - H Límite Inferior Análisis T - H Límite Superior
			Estructura Aislada FPS	Amortiguamiento Efectivo	Amortiguamiento Límite Inferior Amortiguamiento Límite Superior
Presupuesto	Cuantitativa	Evaluación y medida de de dimensiones de los elementos estructurales para obtener su costo	Metrado de Presupuesto	Metrado	Volumen de Concreto Peso de Acero Cantidad de Aisladores
				Costos	Costos

Fuente: Propia

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de Recolección de Datos

3.6.1.1. Estudio de Mecánica de Suelos

- Realización de Calita 1.00 x 0.50
- Ensayo Granulometría
- Ensayo de Humedad
- Ensayo de Porcentaje de Absorción
- Ensayo de Corte Directo
- Ensayo de Límites Attemberg
- Ensayo de consolidación
- Ensayo de Sales
- Ensayo de Gravedad Específica

3.6.1.2. Análisis Estructural

- Predimensionamiento de Elementos
- Modelamiento de Edificación y Cimentación
- Diseño y distribución de Acero de elementos estructurales

3.6.2. Instrumentos de Recolección

3.6.2.1. Estudio de Mecánica de Suelos

a. Granulometría

- Tamices “ELE” estandarizados con ASTM E-11.
- Tamiz de lavado “ELE”.
- Taras y depósitos de tamaños variados.
- Horno “Bench” calibrado por empresa “CELDA”.
- Balanza OHAUS.

b. Humedad y Absorción

- Taras y depósitos de tamaños variados.
- Balanza OHAUS.

c. Corte Directo

- Papel filtro 30 x 30 cm²
- Agua destilada “VISTONY”
- Talladores de corte directo #10, #11 y #2
- Cortador MS-078 y
- Equipo de corte directo marca “ELE”
- Taras y depósitos de tamaños variados.
- Balanza OHAUS.

d. Límites de Attember

- Cuchara de Casagrande
- Taras y depósitos de tamaños variados.
- Balanza OHAUS.

e. Gravedad Específica

- Fiolas 500ml y 90ml error ± 0.25 ml
- Balanza OHAUS.
- Estufa “Thermo Scientific” Type 1900
- Taras y depósitos de tamaños variados.

f. Consolidación

- Papel filtro 30 x 30 cm²
- Piedra porosa
- Tallador de consolidación MS-33-02 y MS-33-01
- Consolidometro marca “ELE” 88-4080, error $\pm 0.0025\text{mm}$
- Anillo de consolidación
- Pesas de arena

3.6.2.2. Diseño estructural

- SAP2000 v19
- SAFE 16
- Microsoft Excel 2013
- Autodesk AutoCAD 2016

3.6.2.3. Reglamentos

- NTP 0.20 – Cargas
- NTP 0.30 – Diseño Sismoresistente
- NTP 0.60 – Concreto Armado
- ASCE 7 – 16
- ACI318 – 19

3.6.2.4. Catálogos, Especificaciones Técnicas y Bibliografía

- Catálogo de productos “Bridgestone”
- Catálogo de productos “FIP” para FPS
- Bibliografía relacionada

3.7. Procedimientos

3.7.1. Estudio de Mecánica de Suelos

Para el análisis e identificación del terreno en donde la edificación sería cimentada, se optó por realizar una exploración con tres calicatas en tres puntos estratégicos para recolectar muestra de los distintos estratos y determinar si sería necesario algún otro método de recolección. Profundizando hasta que se tocó el estrato más consistente.

De estas calicatas se recolectó muestras inalteradas de gran tamaño, las cuales fueron selladas en bolsas especiales para evitar que pierdan su humedad natural. Estas muestras fueron registradas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de las respectivas normativas vigentes. Con la finalidad de conocer el tipo de suelo de cada estrato, así como la capacidad portante de estos, los ensayos realizados fueron los siguientes.

- Granulometría
- Contenido de Humedad
- Porcentaje de Absorción
- Corte Directo
- Gravedad Específica
- Consolidación
- Sales y Sulfatos

Los ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de suelos de la universidad Santo Toribio de Mogrovejo “USAT”.

3.7.2. Diseño Estructural

3.7.2.2. Predimensionamiento

a. Predimensionamiento de Losas

El Reglamento Nacional de Edificaciones, en su noveno capítulo titulado “Requisitos de Resistencia y de Servicio”; indica los espesores mínimos establecidos para elementos reforzados en una dirección, tales como losas nervadas o macizas. Estos espesores son presentados como la relación existente entre luz libre de la losa con un factor determinado, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla N° 4 – Peraltes Mínimos de Losas

	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Fuente: E0.60 – Concreto Armado

De las relaciones dispuestas en la **Tabla N° 4**, se utilizaran para el análisis las que corresponden a los casos de “un extremo continuo” y “Ambos extremos continuos”, tanto para losas aligeradas o macizas.

b. Predimensionamiento de Vigas

El predimensionamiento de vigas considera la relación existente entre las dimensiones geométricas de la sección transversal y la luz de la viga medida entre apoyos con el ancho tributario y la carga que deberá soportar.

Esta relación se obtiene a partir de las dos maneras de expresar la ecuación del momento flector actuante en una sección rectangular de concreto facilitadas por el ACI 318 [66].

$$M_u = \frac{(W_u * B) * L_n^2}{\alpha_M} \quad \text{Ec. 37}$$

$$M_u = \frac{f'c * b * d^2 * w * (1 - 0.59w)}{\phi} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde,

- M_u = Momento último
- W_u = Carga distribuida
- B = Área tributaria
- L_n = Luz de viga entre ejes
- α_M = Coeficiente de momento
- $f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto
- b = Ancho de la sección de viga
- d = Peralte de la sección de viga
- w = $\rho f_y / f'c$
- ϕ = Factor de modificación
- ρ = Cuantía de acero

Al igualar ambas expresiones se despejan de manera que la altura de la sección rectangular quede en función a la luz libre (L_n) y la carga distribuida en unidades de área (W_u).

$$h = \frac{L_n}{\left(\frac{4.01}{\sqrt{W_u}}\right)} = \frac{L_n}{\left(\frac{4}{\sqrt{W_u}}\right)} \quad \text{Ec. 39}$$

Analizando dicha ecuación para distintos casos de cargas distribuidas por área, el denominador de la relación puede ser expresado como un coeficiente α , el cual varía en un rango de entre 9 a 13.

$$h = \frac{L_n}{\alpha} \quad \text{Ec. 40}$$

Por otro lado, para el predimensionamiento del ancho de la viga (b) se recomienda seguir la siguiente expresión en función al ancho tributario que soporta (B) [66].

$$b = \frac{B}{20} \quad \text{Ec. 41}$$

Considerando que este ancho no puede ser menor a la cuarta parte del peralte, o en su defecto a 25 cm. [66].

c. **Predimensionamiento de Columnas**

En base a ensayos experimentales realizados en Japón sobre distintas secciones de columnas a las que se le aplicó una carga puntual constante hasta llevarla a la ruptura. Se identificó que el tipo de falla que presenta el elemento estudiado, está limitado aproximadamente por el ratio carga – resistencia de la sección; siendo que cuando esta relación es mayor a 0.33 o 1/3, la falla que se produciría sería frágil por aplastamiento. Por el contrario, de ser menor a 0.33 la falla sería dúctil [66].

$$n = \frac{P_n}{f'c * b * d} = \frac{P_n}{f'c * A} \quad \text{Ec. 42}$$

Donde,

- P_n = Carga axial
- $f'c$ = Resistencia del concreto a compresión
- b = Dimensión horizontal de la sección de columna
- d = Dimensión vertical de la sección de columna
- A = Área de la sección de columna

La carga axial aplicada (P_n), es aquel producto de la sumatoria del peso del área tributaria (A_T) de los pisos superiores que actúan sobre la columna. El peso por piso (P_{piso}) puede ser tomado como 1 ton-f/m² para el cálculo.

$$P_n = m * A_T * P_{\text{piso}} \quad \text{Ec. 43}$$

Reemplazando **Ecuación 43** en la **Ecuación 42**, se puede simplificar la expresión en base al área tributaria [66].

$$n = \frac{m * A_T * P_{piso}}{f'c * A} \quad \text{Ec. 44}$$

El valor 0.33 del ratio de carga – resistencia, es el obtenido con las mínimas dimensiones posibles de la sección de la columna sin que pase al rango de falla por ruptura y a su vez sirve como límite para determinar el valor de dichas dimensiones [66]. El cual para condiciones de cálculo, se tomará como 0.30. Es decir, dentro del rango dúctil

Despejando la ecuación en función al ratio, es capaz de determinar el área que cumpla con dicha relación.

$$A = \frac{m * A_T * P_{piso}}{f'c * n} \quad \text{Ec. 45}$$

Donde,

- P_{piso} = Peso por piso (1 tn/m²)
- $f'c$ = Resistencia del concreto a compresión
- A_T = Área tributaria
- m = Número de pisos
- n = Constante de 0.35

d. **Predimensionamiento de Muros de Corte**

Se asume que la sección del muro de corte es rectangular y soporta carga axial a compresión pura, con una excentricidad nula o inferior a un sexto de su dimensión más larga. Adicionalmente se indica que el espesor del muro (h) debería mayor o igual a la cuarta parte de la menor dimensión del mismo, ya sea su altura o su largo. Pero siempre deberá ser mayor a igual a 10 cm como mínimo [66].

$$h \geq \frac{\text{menor dimensión}}{25} \quad y \quad h \geq 10 \text{ cm} \quad \text{Ec. 46}$$

$$h = \frac{\text{menor dimensión}}{25} \quad \text{Ec. 47}$$

3.7.2.3. **Modelamiento**

En base a las dimensiones obtenidas en el predimensionamiento, se realizó el modelamiento de cada uno de los elementos de la edificación en el SAP2000 versión 19, indicando:

- Propiedades de los materiales
- Longitud y dimensiones de las secciones de concreto
- Distribución de cargas de servicio
- Combinación de esfuerzos

Las medidas fueron ajustadas hasta que cumplan los requerimientos indicados en las normas de diseño.

3.7.2.4. Análisis por Sismo Estático

Para el análisis estático, se evalúa la fuerza cortante como una fracción del peso propio de la edificación, modificado por un factor de reducción R de acuerdo al tipo de estructura a diseñar; siendo para caso de estructurales duales un factor de $R=7$ [67]. De esta expresión, el coeficiente sísmico se calcula en función de variables que describen las condiciones de terreno y características de la estructura para un periodo de tiempo único; en **Ecuación 27** se describe cada una de las variables necesarias.

3.7.2.5. Análisis por Sismo Dinámico

En el análisis dinámico, como en el caso del análisis estático, se calcula el coeficiente sísmico de **Ecuación 26** con el factor de reducción R requerido. Sin embargo, a diferencias del caso anterior, el coeficiente sísmico variará de acuerdo al periodo (T) en el que se evalúa formando el espectro de sismo de diseño tiempo vs aceleración [67]. El periodo de evaluación comenzará en el tiempo $T=0s$ con el valor de aceleración S_a (g) máximo, que irá disminuyendo hasta tender a cero en cuanto el periodo aumente.

3.7.2.6. Combinaciones de Diseño

Ya sea para el análisis estático o dinámico de sismo, la edificación tendrá un comportamiento distinto para cada caso analizado. Por dicha razón, el diseño estructural debe considerar los esfuerzos resultantes de ambos casos, mediante una combinación de posibilidades reglamentarias conocidas como combos de diseño.

Los combos de diseños utilizados son los listados a continuación.

$$COMB01 = 1.4Cm + 1.7Cv \quad \text{Ec. 48}$$

$$COMB02 = 1.25Cm + 1.25Cv \quad \text{Ec. 49}$$

$$COMB03 = 0.9Cm \quad \text{Ec. 50}$$

$$COMB04 = 1.25Cm + 1.25Cv + SxE \quad \text{Ec. 51}$$

$$COMB05 = 1.25Cm + 1.25Cv - SxE \quad \text{Ec. 52}$$

$$COMB06 = 1.25Cm + 1.25Cv + SyE \quad \text{Ec. 53}$$

$$COMB07 = 1.25Cm + 1.25Cv - SyE \quad \text{Ec. 54}$$

$$COMB08 = 1.25Cm + 1.25Cv + SxD \quad \text{Ec. 55}$$

$$COMB09 = 1.25Cm + 1.25Cv - SxD \quad \text{Ec. 56}$$

$$COMB10 = 1.25Cm + 1.25Cv + SyD \quad \text{Ec. 57}$$

$$COMB11 = 1.25Cm + 1.25Cv - SyD \quad \text{Ec. 58}$$

$$COMB12 = 0.9Cm + SxE \quad \text{Ec. 59}$$

$$COMB13 = 0.9Cm - SxE \quad \text{Ec. 60}$$

$$COMB14 = 0.9Cm + SyE \quad \text{Ec. 61}$$

$$COMB15 = 0.9Cm - SyE \quad \text{Ec. 62}$$

$$COMB16 = 0.9Cm + SxD \quad \text{Ec. 63}$$

$$COMB17 = 0.9Cm - SxD \quad \text{Ec. 64}$$

$$COMB18 = 0.9Cm + SyD \quad \text{Ec. 65}$$

$$COMB19 = 0.9Cm - SyD \quad \text{Ec. 66}$$

3.7.2.7. Diseño de Vigas

a. Diseño por Flexión

Considerando el caso de simple reforzamiento para el diseño a flexión de la sección de vigas. Se realiza el análisis de fuerza a compresión y tracción para el caso de falla balanceada. De esa forma localizar la distancia al eje neutro de la sección y realizar el equilibrio de fuerzas con el que se obtiene las expresiones de a y A_s [30].

$$Mu = \phi A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{Ec. 67}$$

$$A_s = \frac{Mu}{\phi A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad \text{Ec. 68}$$

$$0.85 * f'_c * b * a = A_s * f_y \quad \text{Ec. 69}$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b} \quad \text{Ec. 70}$$

Donde,

- A_s = Área de acero (cm²)
- a = Distancia a la fibra a compresión más extrema
- Mu = Momento último aplicado
- f'_c = Resistencia del concreto a compresión
- f_y = Resistencia a la fluencia
- d = Peralte Efectivo de la sección
- b = Ancho de la sección

Siendo “a” la altura de la sección a compresión transformada y “As” el área de acero requerido para contrarrestar el momento actuante en el eje neutro. Ambas expresiones están relacionadas, por lo que para llegar a un resultado se necesitan repetidas iteraciones.

El área de acero empleado para el diseño a flexión de la viga, deberá ser mayor al área requerida obtenida de **Ecuación 68** y **Ecuación 70** para así soportar los momentos a los que se ve sometida. Empleando varillas longitudinales a lo largo de toda la luz del elemento de acuerdo a los tamaños de varillas comerciales.

Considerando que la cantidad de acero requerida por el diseño está en función al momento sin importar la magnitud de su valor. El reglamento nacional de edificación E0.60 establece la cantidad mínima de área de acero ($A_{s, \text{mín}}$) que se debe colocar en la sección, en los casos donde los momentos tengan valores tan bajos que pueda ser soportados solo por el concreto [31].

$$A_{s, \text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{f'c}}{f_y} * b_w * d \quad \text{Ec. 71}$$

Donde,

- $A_{s, \text{mín}}$ = Área de acero mínimo
- $f'c$ = Resistencia del concreto a compresión
- f_y = Resistencia a la fluencia
- d = Peralte Efectivo de la sección
- b_w = Ancho de la sección

Adicionalmente, el diseño de simple reforzamiento utilizado establece un valor máximo de área de acero (A_s, \max) que la sección puede soportar, sin importar su distribución. Este valor viene dado como un porcentaje del acero balanceado como se muestra a continuación. El cuál en caso de ser superada, requerirá cambiar las condiciones de diseño al de doble reforzamiento [30].

$$A_s, \max = 0.75 * A_{sb} \quad \text{Ec. 72}$$

$$A_s, \max = 0.75 * \rho b * b * d \quad \text{Ec. 73}$$

$$A_s, \max = 0.75 * \beta_1 * 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right) * b * d \quad \text{Ec. 74}$$

Donde,

- A_s, \max = Área de acero máximo (cm²)
- f'_c = Resistencia del concreto a compresión
- f_y = Resistencia a la fluencia
- d = Peralte Efectivo de la sección
- b = Ancho de la sección
- ρb = Cuantía balanceada

b. Bastones de Refuerzo

En algunas ocasiones, el área de acero aportado por el refuerzo longitudinal a lo largo de la viga no es suficiente para cumplir con el requerimiento de momento necesario en determinadas secciones del tramo, ya sea en los nudos o el claro. Es por eso que la diferencia entre el momento aplicado y el momento requerido, debe ser suplido adicionando varillas de acero de menor longitud conocida como bastones.

La longitud de los bastones está determinada por la distancia entre el momento actuante excedido y el momento soportado por el refuerzo longitudinal. Es decir, donde los diagramas de momentos se intersectan.

Por otro lado, el reglamento nacional de edificaciones E0.60 indica que a la longitud de bastón considerado se le deberá agregar una distancia equivalente al peralte (d) de la sección de viga, el valor de doce veces el diámetro de la varilla de menor dimensión (12ϕ) o la medida de una longitud de desarrollo, la que sea mayor.

c. **Refuerzo Transversal**

Para mitigar la acción de la fuerza cortante a lo largo de la luz de viga, se debe implementar la colocación de elementos de confinamiento conocidos como estribos que contrarreste su efecto. Los cuales distribuidos a distancias iguales, y siendo de menor dimensión que las varillas longitudinales, deberá contenerlas en su posición.

La fuerza cortante última (V_u) utilizada para el diseño, es la sumatoria de las cortantes aplicadas por las cargas de gravedad amplificadas y la fuerza cortante proveniente de los momentos mayorados en los extremos de la luz libre. Estos momentos son conocidos como momentos probables (M_{pr}), y son los provenientes de la distribución de acero a flexión multiplicado por un coeficiente de 1.25 [31].

$$V_u = V \pm \left(\frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 75}$$

$$V_u = V \pm 1.25 \left(\frac{M_{n_1} + M_{n_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 76}$$

La **Ecuación 76** es evaluada para dos casos posibles de fuerza cortante (V_u), intercalando los momentos utilizados en la sumatoria. Analizados como relación de triángulos, uno en la zona negativa y la otra en la zona positiva. El máximo valor absoluta de fuerza cortante obtenida de ambos casos analizados, será el utilizado para el diseño de la distribución de estribos.

$$Vu_{caso\ 1} = V \pm \left(\frac{M_{pr, sup_1} + M_{pr, inf_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 77}$$

$$Vu_{caso\ 2} = V \pm \left(\frac{M_{pr, inf_1} + M_{pr, sup_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 78}$$

Donde,

- $Vu_{caso\ 2}$ = Cortante última para el caso analizado
- V = Cortante por carga de servicio
- M_{pr} = Momento del acero longitudinal mayorado
- L = Luz libre de la viga

El diseño por cortante requiere que la fuerza cortante última (Vu) sea evaluada sin reducción, por lo que se le divide por el factor correspondiente de 0.85 para obtener la cortante nominal (Vn) [31].

$$Vu = \phi Vn \quad \text{Ec. 79}$$

$$Vu = 0.85Vn \quad \text{Ec. 80}$$

$$Vn = \frac{Vu}{0.85} \quad \text{Ec. 81}$$

La resistencia a la cortante nominal (Vn) es equivalente a la sumatoria de la resistencia otorgada por la sección de concreto (Vc) y la resistida por el refuerzo transversal (Vs). Por lo que al despejar la cortante resistida por el acero de la ecuación se obtiene la fuerza con la que se obtendrá el espaciamiento (s).

$$V_n = V_u + V_s \quad \text{Ec. 82}$$

$$V_s = V_n - V_c \quad \text{Ec. 83}$$

Sin embargo, para la distribución del refuerzo es importante identificar la zona de confinamiento y no confinamiento dentro de la luz de la viga. El reglamento nacional de edificaciones E0.60 indica que para los requerimientos sísmo resistentes la longitud de la zona de confinamiento será determinada como dos veces la altura de la sección de viga ($2h$) medido desde la cara de columnas a ambos lado de la luz. La zona central será la longitud de no confinamiento [31].

Considerando el largo de ambas zonas, se deberá determinar la magnitud de la fuerza cortante seleccionada de acuerdo a la relación de triángulos del caso seleccionado.

De acuerdo al valor de V_s , el espaciamiento (s) será calculado de acuerdo a **ecuación 84**. En caso de un valor de V_s igual a cero, utilizará la distribución mínima, la cual es establecida como la menor entre **ecuación 85** y **ecuación 86**.

$$S = \frac{n * A_v * f_y * d}{V_s} \quad \text{Ec. 84}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v}{0.2 * \sqrt{f'c} * bw} \quad \text{Ec. 85}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v * f_y}{3.5 * bw} \quad \text{Ec. 86}$$

Donde,

- V_s = Cortante soportada por los estribos
- s = Espaciamiento
- $s_{\text{mín}}$ = Espaciamiento mínimo
- A_v = Área de acero del estribo
- f_y = Resistencia a la fluencia
- $f'c$ = Resistencia a la compresión
- bw = Ancho de viga

A su vez el espaciamiento debe cumplir con algunos requerimientos indicados para la zona de confinamiento y de no confinamiento. En la zona de confinamiento, el espaciamiento debe ser menor que un cuarto del peralte ($d/4$), ocho veces el diámetro de la barra longitudinal menor ($8db$), veinticuatro veces el diámetro del estribo ($24db$) o 30 cm. Por otro lado, la zona de no confinamiento solo se recomienda que el espaciamiento sea al menos la mitad del peralte ($2d$) [31].

3.7.2.8. Diseño de Columnas

a. Condición de Estabilidad

El comportamiento de las columnas ante los esfuerzos externos, varía de acuerdo a la manera en las que los elementos estructurales como vigas y muros de corte estén dispuestos en la edificación, determinando la estabilidad del sistema. La condición de estabilidad puede ser de dos casos, desplazable e indesplazable. Ambos determinarán la manera en la que las columnas son analizadas.

La condición de estabilidad (Q) es determinar por la influencia del comportamiento del entrepiso sobre las columnas. La carga vertical (Pu) que soportan, las fuerzas cortantes (V) aplicas y el desplazamiento que producen (Δ). Aplicado para las combinaciones de carga establecidas. Este análisis es realizado para cada columna de entrespisos independientemente [59].

$$Q = \frac{\sum Pu * \Delta}{V * lc} \quad \text{Ec. 87}$$

Cuando el coeficiente de desplazamiento “Q”, es menor a 0.05 la estructura y/o elemento analizado es considerado arriostrado o indesplazables. De ser mayor a 0.05 la columna será considerada desplazable.

b. Condición de Esbeltez

La condición de esbeltez consiste en verificar la relación entre la sección transversal de la columna con su longitud y su comportamiento ante esfuerzos externos. Pudiendo ser identificadas como columnas cortas o columnas esbeltas. Siendo las columnas cortas el caso más típico.

Las columnas denominadas como columnas cortas son diseñadas para soportar las cargas y esfuerzos sin considerar la acción que su longitud puede ejercer. A diferencia de las columnas largas o esbeltas, cuya desproporción modifica los esfuerzos internos, ya que la sección transversal resulta ser muy pequeña para el largo de la columna. Por lo que, la deformación de la luz agrega a los momentos aplicados, otro carga de momentos como consecuencia, denominados momentos de segundo grado [68].

El ratio de esbeltez es determinado como una relación entre el factor de longitud efectiva (kl) y el radio de giro (r), expresado en **Ecuación 88**. De acuerdo al valor obtenido las columnas serán consideradas corta o esbeltas

$$\text{Ratio de Esbeltez} = \frac{kl}{r} \quad \text{Ec. 88}$$

Donde,

- k = Coeficiente relacionado al tipo de deformación
- l = Luz libre de la viga
- r = radio de giro

Para sistemas indesplazables, una columna es catalogada como corta si el valor del ratio de esbeltez es menor a $34-12(M_1/M_2)$, límite el cuál no puede ser tomado como mayor a 40 [68].

$$\frac{kl}{r} < 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad \text{Ec. 89}$$

Donde,

- M_1 = Momento menor en la longitud de columna
- M_2 = Momento mayor en la longitud de columna
- k = Coeficiente relacionado al tipo de deformación
- l = Luz libre de la viga
- r = radio de giro

c. Refuerzo Longitudinal

Para columnas cortas en un sistema indesplazable, el diseño del refuerzo longitudinal se realiza mediante un diagrama de interacción carga — momento. Seleccionando la distribución de acero apropiada que soporten todas las combinaciones de cargas mayoradas aplicadas sobre la columna. Se debe analizar para cada columna en cada entrepiso independientemente.

Se recomienda comenzar con un área de acero mayor que la mínima ($A_s \text{ mín}$) indicada, multiplicando 0.01 por el área de la columna [31].

$$A_s \text{ mín} = 0.01 * A_c \quad \text{Ec. 90}$$

d. **Refuerzo Transversal**

El procedimiento de diseño a cortante de una columna es similar al diseño por cortante de vigas; a excepción que al ser un elemento vertical se analiza las fuerzas cortantes en ambos sentidos horizontales, sentido X y Y.

Para el diseño se consideró la fuerza cortante proveniente del momento probable en ambas direcciones. Seleccionando el mayor de estos como cortante último (V_u), al cual se le dividió entre el coeficiente para cortante de 0.85 con la finalidad de obtener el cortante nominal (V_n). El cual deberá soportado por la resistencia a la cortante del concreto (V_c) y los estribos (V_s) [31]

La resistencia de la cortante resistida por los estribos (V_s) es expresada de acuerdo a **Ecuación 91**. En base a ella se obtiene la distribución de estribos con la **Ecuación 92**, **Ecuación 93** y **Ecuación 94** usadas para elementos en concreto en general.

$$V_s = V_n - V_c \quad \text{Ec. 91}$$

$$S = \frac{n * A_v * f_y * d}{V_s} \quad \text{Ec. 92}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v}{0.2 * \sqrt{f'_c} * b_w} \quad \text{Ec. 93}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v * f_y}{3.5 * b_w} \quad \text{Ec. 94}$$

La zona de confinamiento (L_c) para columnas es determinada como la mayor entre, la mayor dimensión horizontal de la sección de columna, un sexto de la luz libre ($h/6$) o 50 cm. Siendo en consecuencia la zona no confinada, la zona central de la columna [31].

Para la zona de confinamiento (L_c), los requerimientos antisísmicos sugieren que la distribución de estribos para elementos con núcleo rectangular de concreto (A_{sh}), como columnas, sea calculado de acuerdo a la **Ecuación 95** y **Ecuación 96** [31].

$$S = \frac{n * A_{sh} * f_y}{0.3 * b_c * f'_c} * \left(\frac{A_{ch}}{A_g - A_{ch}} \right) \quad \text{Ec. 95}$$

$$S = \frac{n * A_{sh} * f_y}{0.09 * b_c * f'_c} \quad \text{Ec. 96}$$

Donde,

- s = Espaciamiento
- A_g = Área de la sección
- A_{sh} = Área total del refuerzo transversal
- A_{ch} = Área del núcleo rectangular dentro del estribo
- A_v = Área de acero del estribo
- f_y = Resistencia a la fluencia
- f'_c = Resistencia a la compresión
- b_c = Ancho de viga

Así como el espaciamiento de diseño no puede ser mayor que las menor entre la tercera parte de la menor dimensión de la columna, seis veces el diámetro del refuerzo longitudinal ($6d_b$) o 10 cm. El espaciamiento debe ser la menor del obtenido por los cálculos y condiciones [31].

En la zona de no confinamiento, el espaciamiento se calcula de la misma manera en base a la **Ecuación 92**. Sin consideraciones especiales. Siempre y cuando el espaciamiento sea menor a 10 veces el refuerzo longitudinal ($10d_b$) o 25 cm.

Adicional a la colocación de estribos, en la sección de la columna el Reglamento Nacional de Edificaciones en el capítulo 21 recomienda que el espaciamiento de centro a centro entre estribos no puede ser mayor a 35 cm. Por lo que es necesario implementar grapas suplementarias que sirvan de confinamiento adicional a las varillas de acero longitudinal [31].

3.7.2.9. Diseño de Muro de Corte

a. Consideraciones de Diseño

Existen dos criterios de diseño para las placas o muros de corte, de acuerdo a la carga axial (P_u) aplicada sobre la sección de concreto. Si la carga axial (P_u) era menor a la soportada por el concreto (P_c), entonces la placa se considera que trabaja a flexión. Por lo que la distribución de acero longitudinal seguirá los procedimientos de diseño de vigas. En cambio, si la carga axial aplicada (P_u) es mayor a la soportada por la placa; entonces el elemento estará trabajando a flexo-compresión y el diseño corresponderá al utilizado para columnas, mediante diagrama de interacción [31].

$$P_c = 0.1 * f'_c * A_g \quad \text{Ec. 97}$$

$$\text{Flexión cuando} \quad \phi P_n < 0.1 * f'_c * A_g$$

$$\text{Flexión – Compr. cuando} \quad \phi P_n > 0.1 * f'_c * A_g$$

Donde,

- f'_c = Resistencia a la compresión
- A_g = Área de la sección

b. Refuerzo Vertical

Correspondiente a la posibilidad de falla por flexión o flexo-compresión, el acero de refuerzo vertical puede ser diseñado según las consideraciones de diseño para una sección típica de viga, de simple o doble reforzamiento. O como una sección de columna mediante los diagramas de interacción. Dependiendo de la carga axial a compresión que soporte.

Se sugiere distribuir inicialmente el refuerzo longitudinal o vertical de manera que supere el acero mínimo requerido por las dimensiones del muro de corte según **Ecuación 71**. Si el diseño sigue los requerimientos de diseño de vigas, en base al acero utilizado se determinará el momento que soporta. Comprobando que sea mayor al máximo de los momentos aplicados sobre la placa. Pero si el diseño de la placa sigue los requerimientos de las columnas, se deberá comprobar que los momentos y cargas axiales actuantes se encuentren dentro del diagrama de interacción.

La longitud de la zona a compresión de la sección de concreto se obtiene con el cálculo de “a” siguiendo la **Ecuación 99**. A diferencia de la obtenida para el diseño tipo columna, que toma la longitud “c” en base al mayor de los momentos mayorados.

$$a = 0.85 * c \quad \text{Ec. 98}$$

$$c = \frac{a}{0.85} \quad \text{Ec. 99}$$

Adicionalmente, el diseño de muros de corte contempla un sistema de diseño simplificado denominado como “Método Empírico” en donde se asume que la carga axial que soporta la placa solo es a compresión. Por lo que la acción de una carga a tracción imposibilita el uso de este método [31].

Se deberá analizar las cargas mayoradas actuantes sobre el elemento para cada combinación. En base a los esfuerzos (q_u) (**Ecuación 100**), las cargas axiales (P_u) con participación de los momentos (M_u) (**Ecuación 101**) o para carga axial pura. Los cuales deberán ser evaluados en función al eje neutro de la sección.

$$q_u = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u * L_w}{2 * I_g} \quad \text{Ec. 100}$$

$$P_u = \frac{P_u}{2} \pm \frac{M_u}{d} \quad \text{Ec. 101}$$

Ante muros de corte con fuerzas a compresión y tracción, debe analizar si se necesita columnas de confinamiento en los extremos de la placa de acuerdo a los requerimientos antisísmicos. Esta condición se evalúa en función al esfuerzo actuante y/o a la longitud de la zona a compresión de la sección. Basta con que uno de los dos requisitos se cumpla.

De manera que si el esfuerzo a compresión es mayor al 20% de la resistencia a compresión del concreto o la longitud de la zona a compresión “c” es mayor al valor límite de “c” indicado en la **Ecuación 103**, la placa necesitará confinamiento [31].

$$qu > 0.20 * f'c \quad \text{Ec. 102}$$

$$c \geq \frac{Lm}{600 * \left(\frac{\delta u}{hm}\right)} \quad \text{Ec. 103}$$

Donde,

- $f'c$ = Resistencia a la compresión
- Lm = Longitud total del muro
- δu = Desplazamiento máximo en el extremo superior
- hm = Altura total de un muro medido desde la base

Respecto a las dimensiones de las columnas de confinamiento, se indica que debe ser mayor a la mitad de la longitud “c”, 30 cm o a la **Ecuación 104** y el espaciamiento de sus estribos debe ser menor a 10 veces el diámetro del menor acero longitudinal, 24 veces el diámetro del estribo o 25 cm [31].

$$C - 0.1 * Lw \quad \text{Ec. 104}$$

Correspondiente a la falla por tracción y compresión pura. Se analizan la carga máxima a tracción y compresión de las combinaciones mayoradas, con las resistencias aportadas por el elemento de concreto. La carga máxima a compresión (C_u) deberá ser menor a la compresión soportada por el concreto según **Ecuación 105**, mientras que la tracción (T_u) deberá ser menor a la resistencia aportada por resistencia a la fluencia del área de acero de acuerdo a **Ecuación 106** [31].

$$C_u < f'_c * A_c \quad \text{Ec. 105}$$

$$T_u < f_y * A_s \quad \text{Ec. 106}$$

c. **Refuerzo Horizontal**

Correspondiente a la falla por cortante. Para determinar la fuerza cortante de diseño del refuerzo horizontal, se compara la cortante y los momentos actuantes (M_{ua}) sobre la placa con el momento resistente del acero longitudinal (M_n), como se muestra en **Ecuación 107**. La cortante última (V_u) será amplificada dividiéndolo con el factor de 0.85, para obtener la cortante nominal (V_n). La cual no deberá ser mayor a la cortante máxima permitida (V_{max}) **Ecuación 108**, en caso lo fuera se deberá revisar el diseño [31].

$$V_u = V_{ua} * \left(\frac{M_n}{M_{ua}} \right) \quad \text{Ec. 107}$$

$$V_{max} = 2.6 * A_{cw} * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. 108}$$

En caso de elementos expuestos a considerables cargas axiales, la resistencia a la cortante aportada por el concreto es modificada por la presencia de cargas a tracción (T_u) por lo establecido en **Ecuación 109**. Donde el coeficiente α_c de 0.53, varía de acuerdo a la relación de la altura (h_w) con la longitud (l_w). Para relaciones de h_w/l_w menores o igual a 1.5 es 0.80, para mayor igual a 2 se interpola entre 0.80 a 0.53 y para mayores a 2, es de 0.53 [31].

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * \left(1 - \frac{T_u}{35A_g}\right) * b_w * d \quad \text{Ec. 109}$$

La resistencia al corte V_s con el que se calcula la distribución se obtiene de la diferencia $V_n - V_c$. El refuerzo horizontal se evalúa dividiendo la placa en franjas horizontales con dos ramas de estribos a ambos lados de la zona inferior. El acero mínimo requerido por la franja deberá ser menor al acero colocado.

La cuantía de refuerzo horizontal (ρ_h) vería de acuerdo a la cortante nominal (V_n). Si V_n es menor a la mitad de la cortante resistida por el concreto (V_c), la cuantía será de 0.0020. Si V_n es mayor a $V_c/2$ pero menor a V_c , entonces la cuantía será de 0.0025. Pero cuando la cortante nominal (V_n) es mayor a V_c , la cuantía se obtiene por V_s en la **Ecuación 110** [31].

$$\rho_h = \frac{V_s}{A_{cw} * f_y} \quad \text{Ec. 110}$$

La cuantía vertical (ρ_v) por otro lado se calcula en función a la cuantía horizontal. Cuando V_n es menor a $V_c/2$, la cuantía vertical corresponde a 0.0015. En los casos mayores a $V_c/2$, se calcula por la **Ecuación 111**, sin ser menor a 0.0025 [31].

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5 * \left(2.5 - \frac{hm}{lm} \right) * (\rho_h - 0.0025) \quad \text{Ec. 111}$$

Donde,

- ρ_v = Cuantía de acero vertical
- ρ_h = Cuantía de acero horizontal
- Lm = Longitud total del muro
- hm = Altura total de un muro medido desde la base

Con las cuantías horizontal y vertical se obtiene el acero mínimo que se necesita para un metro de altura. El acero mínimo se divide con el acero colocado en las franjas horizontales, para obtener el número de varillas que deberían distribuirse **Ecuación 112**. Estas varillas se dividen con el metro estimado para obtener el espaciamiento, el espaciamiento para el acero horizontal se espera coincida con el espaciamiento estimado al principio.

$$n = \frac{As, \text{mín}}{As, \text{franja}} \quad \text{Ec. 112}$$

El espaciamiento de acero deberá ser menor a 3 veces el espesor del muro y 40 cm. En caso de cambio de sección se recomienda usar la de menor espesor. El acero calculado para un metro de largo se distribuye para la altura real de placa [31].

Correspondiente a la falla por fricción (V_f). La fuerza cortante nominal (V_n) deberá ser menor a **Ecuación 113** y **Ecuación 114** para no requerir diseño de cortante por fricción (V_f) o deslizamiento [31].

$$V_{f_1} = 0.2 * f'c * A_c \quad \text{Ec. 113}$$

$$V_{f_2} = 5.5 * A_c \quad \text{Ec. 114}$$

3.7.2.10. Diseño de Losa Aligerada

a. Momentos de Diseño

La losa del entrepiso a diseñar, se divide en franjas longitudinales siguiendo el sentido dispuestos para las viguetas. Pueden ser de uno o varios tramos; pero no debe presentar interrupciones o ductos. Estas serán diseñadas para el caso de losa aligeradas como vigueta de sección “T” de 40 cm de longitud total de alas y 15 cm de alma, las cuales son dimensiones preestablecidas.

Los momentos se obtendrán respetando la ubicación de los volados, y la distribución de apoyos fijos en cada nudo columna – viga.

b. Acero de Refuerzo

El diseño de acero usa las **Ecuación 68** y **Ecuación 70** para el área de acero “As” y longitud “a” respectivamente. En el caso de secciones “t” el acero usado en las alas a tracción es el mismo al usado cuando el ala se encuentra a compresión. Considerando para el diseño que el ala trabajará a tracción en los nudos y a compresión en el claro, por lo que el ancho de la base “b” será de 10 cm y de 40 cm respectivamente. Asumiendo que el ala siempre está ante el caso desfavorable a tracción [33].

El acero requerido no puede ser menor al acero mínimo (As mín). Ver **Ecuación 115**, donde el valor del ancho (bw) es igual a 2bw para secciones con alas a tracción [33].

$$As, mín = \frac{\sqrt{f'c}}{4fy} * bw * d \quad \text{Ec. 115}$$

Adicionalmente se espera que el espesor de losa sea capaz de resistir las fuerzas cortantes que actúen sobre el elemento. Obteniendo las cortantes para ambos direcciones de análisis, se deben comparar por la cortante resistente propia del concreto de **Ecuación 109** sin considerar los efectos de tracción.

c. **Acero de Temperatura**

Transversalmente al acero de refuerzo, se distribuye varillas de temperatura o retracción en la parte superior de la losa. Cuya área de acero (A_{st}) se calcula con **Ecuación 116** con una cuantía de refuerzo a retracción de 0.0018 distribuido para una sección de 1.00 m para facilidades de cálculo [33].

$$A_{st} = 0.0018 * b * h \quad \text{Ec. 116}$$

El espaciamiento del acero de temperatura (St) se calcula dividiendo el acero de la varilla utilizada entre el acero requerido por la sección, indicado en **Ecuación 117**. Sin embargo el espaciamiento no puede ser mayor a 5 veces el espesor de la losa o 40 cm [33].

$$St = \frac{A_v}{A_{st}} * 100 \quad \text{Ec. 117}$$

3.7.2.11. Diseño de Losa Maciza

a. Refuerzo Longitudinal

Para el caso de losas macizas diseñados en dos direcciones, se analiza los momentos por paños en ambos sentidos. Siguiendo el diseño de área de acero de la **Ecuación 68** y **Ecuación 70**, considerando como vigas de un metro de ancho para cada dirección.

Con una cuantía mínima de 0.0018, para una franja de un metro, analizado en ambas direcciones por independiente. El acero se distribuye siguiendo **Ecuación 117** tanto para el mallado de la zona inferior como para los bastones de la zona superior.

Adicionalmente se espera que el espesor de losa sea capaz de resistir las fuerzas cortantes que actúen sobre el elemento. Obteniendo las cortantes para ambas direcciones de análisis, se deben comparar por la cortante resistente propia del concreto de ecuación [33].

3.7.2.12. Diseño de Escaleras

a. Predimensionamiento

En escaleras, el diseño de acero es determinado por el espesor de la losa maciza diagonal sobre la que descansan las gradas y demás acabados. Este espesor deberá cumplir con los lineamientos de espesor mínimo (t_{\min}) y máximo (t_{\max}) esperados en relación a la longitud horizontal del tramo (Ln) [69]. Se recomienda mantener regularidad en las unidades.

$$t_{\min} = \frac{Ln}{25} \quad \text{Ec. 118}$$

$$t_{\max} = \frac{Ln}{20} \quad \text{Ec. 119}$$

b. Espesor Horizontal Equivalente (hm)

La losa maciza, componente principal de la escalera, soporta el peso de las gradas distribuidas de manera continua a lo largo del tramo. Cuyas dimensiones identificadas como contrapaso (CP) y paso (P), refieren al alto y ancho de cada grada respectivamente. Estas varían de acuerdo a los requerimientos de diseño pero que se espera no superen los 18 cm para el contrapaso y los 25 cm para el paso [69]. Sin embargo, la inclinación que presenta la losa maciza diagonal, repercuten en la manera en la que se comportan las cargas actuantes por peso propio y su efecto en los soportes empotrados.

Para el análisis del metrado de carga por peso propio, es necesario determinar un equivalente horizontal para la losa diagonal. El espesor de la losa equivalente (h_m) deberá considerar no solo el espesor propio calculado; sino además adicionar un espesor constante que corresponda al volumen de concreto de las gradas. Dicho espesor adicional proveniente de las gradas, se puede obtener considerando la mitad de la dimensión del contrapaso; suponiendo que al realizar un corte transversal a lo largo de todas las gradas, la parte excluida puede llenar los espacios propios.

En la **Ecuación 120**, el espesor equivalente (h_m) es indicando como la sumatoria del ancho adicional de las gradas con la longitud vertical de la sección de losa (h_o) [69]. Este último, está en función del ángulo de inclinación de la escalera como se establece en **Ecuación 121**.

$$h_m = h_o + \frac{CP}{2} \quad \text{Ec. 120}$$

$$h_m = \frac{t}{\cos\theta} + \frac{CP}{2} \quad \text{Ec. 121}$$

Para simplificar la expresión del coseno del ángulo de inclinación de la escalera ($\cos\theta$), se reemplaza la **Ecuación 122** en la **Ecuación 100** [69]. Debido a que el ángulo de inclinación es el mismo al ángulo proveniente de la relación de dimensiones entre el contrapaso y el paso.

$$\cos\theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + CP^2}} \quad \text{Ec. 122}$$

c. **Metrado de Cargas**

Las cargas aplicadas sobre la escalera son identificadas considerando el peso propio de la losa de espesor equivalente (P.P.) calculado anteriormente; en conjunto, con el peso de los acabados (AC) y la sobrecarga (S/C) sobre el tramo de escalera de extremo a extremo.

La Norma Peruana E0.20 establece que para los acabados se tome un valor de 100 kg/cm²; así como, a la sobrecarga se le corresponde una carga distribuida de 200 kg/cm² al corresponder al caso de escalera [70]. Estos valores son multiplicados por el ancho del tramo de gradas o del descanso (B), sea cual sea el caso [69]. Para expresar el metrado en unidades de kg/cm o de Tonf/m.

Adicionalmente, las cargas obtenidas son mayoradas por el combo de servicio $1.4D + 1.7L$, donde D refiere a las cargas muertas de peso propio y acabados; así como L a la carga viva de sobrecarga [69].

$$P.P. = 1.4 * 2.4 * hm * B \quad \text{Ec. 123}$$

$$AC = 1.4 * 0.10 * B \quad \text{Ec. 124}$$

$$S/C = 1.7 * 0.20 * B \quad \text{Ec. 125}$$

d. **Momento de Diseño (M_{dis})**

En base a las cargas distribuidas aplicadas sobre el tramo de la escalera, se calcula el momento máximo en el diagrama de momento flector. Este momento (M_{max}) de valor positivo en el diagrama, es el soportado el acero positivo o inferior. No obstante, para el diseño de acero se recomienda utilizar el momento último (M_{dis}), multiplicando el momento máximo por el coeficiente $\alpha=0.90$.

$$M_{dis} = \alpha M_{max} \quad \text{Ec. 126}$$

Para los aceros negativos, el momento de diseño puede asumirse como la tercera parte del momento de diseño positivo (M_{dis}+) de acuerdo a lo expresado en **Ecuación 127** [69].

$$M_{dis (-)} = \frac{1}{3} M_{dis (+)} \quad \text{Ec. 127}$$

e. **Refuerzo Longitudinal**

El diseño de refuerzo de acero longitudinal, sigue los requerimientos de diseño de acero por flexión para cualquier elemento estructural. Con el cálculo del área de acero “A_s” de **Ecuación 68** y la longitud “a” de la **Ecuación 70** se precisa el área de acero a distribuir en la losa para soportar los esfuerzos de los momentos positivos y negativos.

Conociendo el diámetro de la varilla seleccionada, se divide el área de acero requerido (A_{sreq}) por el área de acero a usar (A_{su}) para identificar el número de varillas de necesarias (n). Las cuáles serán distribuidas horizontalmente en el ancho de la losa (b) con un espaciamiento calculado (S) como en **Ecuación 128**.

$$n = \frac{A_{sreq}}{A_{su}} \quad \text{Ec. 128}$$

$$S = \frac{B}{n - 1} \quad \text{Ec. 129}$$

Es importante mencionar que la longitud del ancho (B) para el cálculo no debe considerar el recubrimiento (r) de 2cm a cada lado, establecido para elementos tipo losa [31].

No obstante, de acuerdo al momento último para el cual el acero es diseñado. Esté tendrá una distribución de acero distinta ya sea para el acero inferior (momento positivo) o el acero superior (momento negativo).

En algunos diseños, el acero de refuerzo superior o negativo es dispuesto como bastones distribuidos transversal anclados en los extremos de la escalera. Pero en este caso se prefiere trabajar como varillas continuas ancladas al descaso y losa de entrepiso por medio de viguetas de apoyo. Cuyos detalles son indicados adelante.

Por otro lado, se debe revisar que el área de acero calculada sea mayor al área de acero mínimo, valor que depende de las dimensiones de ancho (b) y peralte (d) de la sección de losa [69]. Para el diseño se utilizará el que sea mayor.

$$A_{s_t} = 0.0018 * b * d \quad \text{Ec. 130}$$

f. **Refuerzo de Temperatura**

El refuerzo transversal o refuerzo de temperatura, son varillas dispuestas paralelamente al ancho de losa, perpendiculares a la varillas longitudinales. Proveen de resistencia a la escalera antes las deformaciones por cambios de temperatura [31].

$$A_{s_t} = 0.0018 * b * t \quad \text{Ec. 131}$$

La **Ecuación 130** para el acero de temperatura, obtiene el área para un ancho (b) de 1m y el espesor real de losa de escalera (t). Está ecuación es equivalente a **Ecuación 116** para acero de temperatura en losas horizontales con espesor “h” [69].

g. **Verificación por Cortante**

El concreto de la sección de losa maciza deberá ser capaz de resistir no solo los esfuerzos por flexión; si no también los esfuerzos cortantes provenientes de la acción de las cargas sobre la escalera, los cuales reciben el nombre de cortante última (Vu) [69].

En escaleras, la cortante última (V_u) resulta de la acción de la sumatoria de cargas distribuidas (W_u) a lo largo del tramo de losa (L_n), indicado desde el contrapaso de la primera grada hasta el límite del paso de la última grada. Adicionalmente, se incluye la acción del peralte de losa (d). El valor obtenido es modificado por la inclinación de la losa ($\cos\theta$) para asegurar precisión.

Del cálculo de la cortante última (V_u) detallada en **Ecuación 132**, el valor es mayorado dividiendo el resultado con la constante de cortante $\phi=0.85$ de **Ecuación 133** [31] [69].

$$V_u = \left(W_u * \frac{L_n}{2} - W_u * d \right) * \cos \theta \quad \text{Ec. 132}$$

$$V_n = \frac{V_u}{0.85} \quad \text{Ec. 133}$$

Se espera que la cortante aplicada mayorada o nominal (V_n) sobre la losa de la escalera, sea inferior a la cortante resistida por la sección de concreto correspondiente (V_c). En caso de superarla será necesario reconsiderar el diseño.

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * b * d \quad \text{Ec. 134}$$

h. Verificación por Esfuerzo Admisible

Solo en el primer tramo de la escalera, los esfuerzos son transmitidos hacia la cimentación en el extremo inferior de la losa. Estos son denominados esfuerzos últimos (σ_u) y se espera que sea inferior al máximo esfuerzo admisible (σ_{adm}) obtenido del estudio de suelos.

Indicando en la **Ecuación 135** y **Ecuación 136**, de la carga distribuida por servicio (W_u) en la longitud útil del tramo (L) se calcula el valor de la carga puntual equivalente (P_u) [69]. Esta fuerza es transmitida a la cimentación por una extensión de anclaje de área calculada (A).

$$P_u = \frac{W_u * L}{2} \quad \text{Ec. 135}$$

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 136}$$

3.7.2.13. Plata de Cimentación

a. Comprobación de rigidez

Para el diseño de platea de cimentación por los métodos habituales, es necesario determinar que el comportamiento de la estructura sea rígida. Condición que dependerá del espaciamiento de las columnas, la cual deberá ser menor que el coeficiente de $1.75/\lambda$. El cuál toma en consideración la caracterización del sistema (λ) calculada de acuerdo a **Ecuación 137** [71].

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k_s * b}{4E_c I}} \quad \text{Ec. 137}$$

La ecuación relaciona el coeficiente de balastro del suelo (k_s) con el módulo de elasticidad del concreto (E_c) y el momento de inercia de la sección de cimentación (I_c). Esta última se obtiene de las dimensiones geométricas como el ancho (b) y peralte (t).

$$I = \frac{bt^3}{12} \quad \text{Ec. 138}$$

b. Presión admisible

Se debe analizar la presión que la totalidad de la platea de cimentación ejerce sobre la superficie de suelo en donde será asentada. Este valor es determinado en función a la carga vertical aplicada junto al momento ocasionado por la excentricidad del centro de gravedad de las columnas con las de la platea [71].

$$q = \frac{Pu}{A} \mp \frac{M_x Y}{I_x} \mp \frac{M_y X}{I_y} \quad \text{Ec. 139}$$

Donde,

- q = Presión de contacto en un punto
- Pu = Carga Vertical
- M_z, M_x = Momento producido por la excentricidad
- X, Y = Excentricidad
- I_x = Momento de inercia sentido X
- I_y = Momento de inercia sentido Y

Si la presión de contacto de los puntos de la platea es menor a la capacidad admisible del suelo se podrá proceder por el diseño de acero.

c. **Mallado de Refuerzo**

El acero de refuerzo en plateas como en losas macizas, se colocan en mallados de acero de dos direcciones distribuidos a cierta distancia (s) dependiendo del tamaño de la varilla de acero que se coloque. Medida la cual es determinada por **Ecuación 140** y deberá ser mayor al acero mínimo ($A_s \text{ mín}$) obtenido de la cuantía de 0.0018 [71].

$$A_s = \frac{M_u}{F_s * j * d} \quad \text{Ec. 140}$$

$$A_s \text{ mín} = 0.0018 * b * d \quad \text{Ec. 141}$$

Para el cálculo de acero de acuerdo a **Ecuación 140** se debe conocer el esfuerzo admisible del refuerzo de acero (f_s) y del concreto (f_c), los cuales son 40% F_y y 45% f'_c respectivamente [71].

$$F_s = 0.40 * F_y \quad \text{Ec. 142}$$

$$f_c = 0.45 * f'_c \quad \text{Ec. 143}$$

Adicionalmente, de las propiedades de los materiales se identificará la relación “n” entre los módulo de elasticidad del acero respecto al concreto, **Ecuación 142**. De manera que este ratio permite conocer el ratio “k” entre fs y fc. Valor que deberá ser reducido para conocer el brazo de giro entre la zona a compresión y tracción (j) utilizado en el diseño de acero [71].

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{n f_c}} \quad \text{Ec. 144}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} \quad \text{Ec. 145}$$

Por otro lado, el peralte (d) utilizado para la platea deberá ser mayor a la requerida para soportar las cargas verticales transmitidas por las columnas. Este valor se recomienda no ser menor a la expresión de la **Ecuación 146**. Donde el valor de Kb es el valor del esfuerzo del concreto reducido por el factor (k) y el brazo de giro [71].

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{Mu}{Kb}} \quad \text{Ec. 146}$$

$$kb = \frac{f_c * k * j}{2} \quad \text{Ec. 147}$$

3.7.2.14. Vigas de Cimentación

Se encuentran distribuidas en la cimentación, conectando las columnas o elementos verticales. Pueden estar embebidos en su totalidad en el peralte de platea o sobresalir, de acuerdo como sea el diseño establecido. Descansando como el resto de estructuras al nivel del suelo, sobre una capa de solado de concreto simple de $e=0.10$ m y con un recubrimiento interno de 7cm entre la superficie exterior de la sección y el acero de refuerzo [31].

a. Refuerzo Longitudinal

Internamente, el refuerzo del acero de la viga de cimentación siguen los requerimientos de acero para falla balanceada de las vigas de simple reforzamiento, mencionadas anteriormente, sin considerar el efecto de su peralte sobre la distribución de momentos. Por lo que el área de acero requerida se calcula con la **Ecuación 148** y **Ecuación 149**.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad \text{Ec. 148}$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b} \quad \text{Ec. 149}$$

Donde,

- A_s = Área de acero (cm²)
- a = Distancia a la fibra a compresión más extrema
- M_u = Momento último aplicado
- f'_c = Resistencia del concreto a compresión
- f_y = Resistencia a la fluencia
- d = Peralte Efectivo de la sección

Sin embargo, como detalle adicional al refuerzo de acero se recomienda incluir longitudinalmente una varilla de 3/8” de diámetro a cada lado de la sección, a una altura equivalente de 0.50 del peralte para reducir el efecto de un posible pandeo en la sección [72].

b. Refuerzo Transversal

Para mitigar la acción de la fuerza cortante a lo largo de la luz de viga, se debe implementar la colocación de elementos de confinamiento conocidos como estribos que contrarreste su efecto. Los cuales distribuidos a distancias iguales, y siendo de menor dimensión que las varillas longitudinales, deberá contenerlas en su posición.

La fuerza cortante última (V_u) utilizada para el diseño, es la sumatoria de las cortantes aplicadas por las cargas de gravedad amplificadas y la fuerza cortante proveniente de los momentos mayorados en los extremos de la luz libre. Estos momentos son conocidos como momentos probables (M_{pr}), y son los provenientes de la distribución de acero a flexión multiplicado por un coeficiente de 1.25 [31].

$$V_u = V \pm \left(\frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 150}$$

La **Ecuación 150** es evaluada para dos casos posibles de fuerza cortante (V_u), intercalando los momentos utilizados en la sumatoria. Analizados como relación de triángulos, uno en la zona negativa y la otra en la zona positiva. El máximo valor absoluta de fuerza cortante obtenida de ambos casos analizados, será el utilizado para el diseño de la distribución de estribos.

$$Vu_{Caso\ 1} = V \pm \left(\frac{M_{pr, sup_1} + M_{pr, inf_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 151}$$

$$Vu_{Caso\ 2} = V \pm \left(\frac{M_{pr, inf_1} + M_{pr, sup_2}}{L} \right) \quad \text{Ec. 152}$$

Donde,

- V_u = Cortante última para el caso analizado
- V = Cortante por carga de servicio
- M_{pr} = Momento mayorado
- L = Luz libre de la viga

El diseño por cortante requiere que la fuerza cortante última (V_u) sea evaluada sin reducción, por lo que se le divide por el factor correspondiente de 0.85 para obtener la cortante nominal (V_n) [31].

$$Vu = \phi V_n \quad \text{Ec. 153}$$

La resistencia a la cortante nominal (V_n) es equivalente a la sumatoria de la resistencia otorgada por la sección de concreto (V_c) y la resistida por el refuerzo transversal (V_s). Por lo que al despejar la cortante resistida por el acero de la ecuación se obtiene la fuerza con la que se obtendrá el espaciamiento (s).

$$V_n = V_u + V_s \quad \text{Ec. 154}$$

$$V_s = V_n - V_c \quad \text{Ec. 155}$$

De acuerdo al valor de V_s , el espaciamiento (s) será calculado de acuerdo a la **Ecuación 156**. En caso de un valor de V_s igual a cero, utilizará la distribución mínima, la cual es establecida como la menor en **Ecuación 157** y **Ecuación 158**.

$$S = \frac{n * A_v * f_y * d}{V_s} \quad \text{Ec. 156}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v}{0.2 * \sqrt{f'_c} * bw} \quad \text{Ec. 157}$$

$$S_{\text{mín}} = \frac{n * A_v * f_y}{3.5 * bw} \quad \text{Ec. 158}$$

Donde,

- V_s = Cortante soportada por los estribos
- s = Espaciamiento
- $s_{\text{mín}}$ = Espaciamiento mínimo
- A_v = Área de acero del estribo
- f_y = Resistencia a la fluencia
- f'_c = Resistencia a la compresión
- bw = Ancho de viga

A su vez el espaciamiento debe cumplir con algunos requerimientos indicados para la zona de confinamiento y de no confinamiento. En la zona de confinamiento, el espaciamiento debe ser menor que un cuarto del peralte ($d/4$), ocho veces el diámetro de la barra longitudinal menor ($8d_b$), veinticuatro veces el diámetro del estribo ($24d_b$) o 30 cm. Por otro lado, la zona de no confinamiento solo se recomienda que el espaciamiento sea al menos la mitad del peralte ($2d$) [31].

3.7.2.15. Pedestales

Elemento usado para diseños estructurales relacionados al sistema de aislamiento. Cuando son pedestales superiores funcionan como soporte para las columnas de la superestructura; pero si estos actúan como pedestales inferiores de la subestructura, sirven de asiento de apoyo para el sistema de aislación y la superestructura como un elemento más de la cimentación. Además, se recomienda que las dimensiones de estas estructuras sean mayores al de las columnas o elementos verticales asentados encima.

a. Refuerzo Longitudinal

Los pedestales, tanto superiores como inferiores, se comportan a flexo-compresión de manera similar al de una columna corta de gran sección. Por lo que el diseño corresponde a una evaluación de los momentos últimos y cargas axiales en un diagrama de interacción [72]. Adicionalmente, como elemento vertical se recomienda que el acero utilizado sea al menos el 1% de cuantía de acero para su sección transversal [31].

b. Refuerzo Transversal

El diseño por cortante para los pedestales, siguen los requerimientos para columnas y vigas, pero considerando que casi la totalidad de su longitud está embebida en un nudo de viga – losa – pedestal. Para lo cual a diferencia de estos no habrán zona de confinamiento o no confinamiento en la distribución de refuerzo transversal.

Para el diseño se consideró la fuerza cortante proveniente del momento probable en ambas direcciones. Seleccionando el mayor de estos como cortante último (V_u), al cual se le dividió entre el coeficiente para cortante de 0.85 con la finalidad de obtener el cortante nominal (V_n). El cual deberá soportado por la resistencia a la cortante del concreto (V_c) y los estribos (V_s) [31]

La resistencia de la cortante resistida por los estribos (V_s) es expresada de acuerdo a **Ecuación 159**. En base a ella se obtiene la distribución de estribos con la **Ecuación 160** usada para elementos en concreto en general.

$$V_s = V_n - V_c \quad \text{Ec. 159}$$

$$S = \frac{n * A_v * f_y * d}{V_s} \quad \text{Ec. 160}$$

Así como el espaciamiento de diseño no puede ser mayor que las menor entre la tercera parte de la menor dimensión de la columna, seis veces el diámetro del refuerzo longitudinal ($6d_b$) o 10 cm. El espaciamiento debe ser la menor del obtenido por los cálculos y condiciones [31].

Adicional a la colocación de estribos, en la sección de la columna el Reglamento Nacional de Edificaciones en el capítulo 21 recomienda que el espaciamiento de centro a centro entre estribos no puede ser mayor a 35 cm. Por lo que es necesario implementar grapas suplementarias que sirvan de confinamiento adicional a las varillas de acero longitudinal [31].

3.7.2.16. Vigas de Aislamiento

Las vigas de aislamiento corresponden a las vigas de la interfaz de aislamiento sobre la que se asienta la superestructura. Se caracterizan, por poseer un peralte notablemente mayor respecto a su ancho y su luz libre, por lo que el diseño corresponde al de una viga de gran peralte. Además, se considera viga de gran peralte cuando la altura de la sección modificado por un factor de 4, para la norma peruana, es mayor a la luz libre de la viga. Este factor puede variar dependiendo del reglamento utilizado para el diseño [72].

Una característica importante a conocer en el diseño de vigas de gran peralte, es que debido al volumen de concreto que tiene disponible para soportar los esfuerzos transmitidos, el aporte de resistencia del acero es menor. Por lo que los requisitos de diseño cambian en función de las propiedades geométricas de la sección. Los esfuerzos internos no se transmiten de manera similar al que una viga típica lo haría, siendo diferente a medida que crece la distancia desde el eje neutro. Derivando este comportamiento a que los momento dependerá del brazo de palanca interno (z).

El brazo de palanca interno (z) se podrá deducir del valor del ratio de la luz libre y el peralte (l/h). Si este es menor a 1 el brazo de palanca se determinará de la **Ecuación 161** por el contrario, de ser el brazo de palanca mayor o igual a 1 o menor e igual a 2.5 se tomara de acuerdo a **Ecuación 162**. Sin embargo, el máximo valor que el ratio l/h puede tomar es de 2.5 [72].

$$z = 0.5l \quad \frac{l}{h} < 1 \quad \text{Ec. 161}$$

$$z = 0.2(l + 1.5h) \quad 1 \leq \frac{l}{h} \leq 2.5 \quad \text{Ec. 162}$$

a. **Refuerzo Longitudinal**

El área de acero es la resultante de dividir el momento actuante (Mu) entre la multiplicación del brazo de palanca (z) por la resistencia a la fluencia del acero (fy). Valor el cual deberá ser mayor al acero mínimo de la cuantía de 0.002 (cuantía mínima de una sección de viga típica) [72].

$$As = \frac{Mu}{fy * 0.9 * z} \quad \text{Ec. 163}$$

Sin embargo, el valor de acero obtenido de la ecuación deberá ser dispuesto por sectores en el peralte de la sección. Siendo una porción distribuida en el tramo superior de 20% el peralte, **Ecuación 164** y la porción restante deberá ser distribuido en la parte central de la sección (60% del peralte) como varillas de 3/8” [72].

$$As1 = 0.5 * \left(\frac{l}{h} - 1 \right) As \quad \text{Ec. 164}$$

$$As2 = As - As1 \quad \text{Ec. 165}$$

Donde,

- $As1$ = Área de acero en el sector en el 20% del peralte.
- $As2$ = Área de acero en el sector en el 60% del peralte.

3.7.2.17. Losa de Aislamiento

Es parte importante de la interfaz de aislamiento, corresponde a una losa maciza de espesor peraltado que separe la superestructura de la edificación de la subestructura. Su función es en aislar la estructura como si de una caja desplazable se tratase. Bajo la losa, se encuentran dispersos las unidades de aislación utilizadas.

Asimismo, como cualquier losa maciza, el diseño de acero de la losa de aislamiento siguen los requerimientos para el mallado en dos direcciones tomados para las losas entre niveles explicados anteriormente.

3.7.3. Consideraciones del Diseño de Aislamiento

3.7.3.1. Espectro de Aceleración de Diseño

Los Parámetros de Aceleración para Periodo Corto (S_s) y Largo (S_L), son obtenidas en base al comportamiento sísmico de los suelos estudiados. Permitiendo obtener los valores de las aceleraciones de Espectro de respuesta de sitio (S_{MS} y S_{M1}). Sin embargo, por la carencia de información oficial de los parámetros de aceleración del territorio peruano, se optó por utilizar los valores propuestos por la **Tabla N° 5** para cada ciudad [73].

Tabla N° 5 - Aceleraciones de terreno para $T=0.2s$ y $T=1s$ en el Perú

Aceleraciones		Objetivo de Riesgo			Objetivo de Peligro		
Ciudad	T (s)	1%/50 años (g)	Tiempo Retorno (años)	(1%/50 años)/1.5 (g)	Sa para 2475 años (g)	% Col/50 años	Sa para 475 años (g)
Abancay	0.00 (PGA)	0.495	2974.472	0.330	0.473	1.174%	0.303
	0.20 (S_s)	1.017	2930.388	0.678	0.975	1.159%	0.624
	1.00 (S_L)	0.380	3017.292	0.254	0.362	1.187%	0.234
Arequipa	0.00 (PGA)	0.773	3334.812	0.515	0.721	1.286%	0.476
	0.20 (S_s)	1.679	3196.920	1.119	1.580	1.241%	1.036
	1.00 (S_L)	0.674	3072.283	0.449	0.640	1.201%	0.417
Ayacucho	0.00 (PGA)	0.510	2948.564	0.340	0.488	1.166%	0.312
	0.20 (S_s)	1.078	2964.243	0.719	1.030	1.171%	0.661
	1.00 (S_L)	0.364	3161.223	0.243	0.344	1.232%	0.225
Cajamarca	0.00 (PGA)	0.432	2945.013	0.288	0.413	1.163%	0.265
	0.20 (S_s)	0.927	2862.230	0.618	0.894	1.134%	0.571
	1.00 (S_L)	0.408	2701.521	0.272	0.399	1.079%	0.251
Cerro de Pasco	0.00 (PGA)	0.481	2918.786	0.321	0.461	1.155%	0.295
	0.20 (S_s)	0.999	2857.700	0.666	0.963	1.134%	0.612
	1.00 (S_L)	0.394	2857.218	0.262	0.380	1.133%	0.242
Chachapoyas	0.00 (PGA)	0.569	2657.213	0.379	0.558	1.064%	0.348
	0.20 (S_s)	1.229	2579.734	0.819	1.215	1.037%	0.752
	1.00 (S_L)	0.533	2523.483	0.355	0.530	1.017%	0.327
Chiclayo	0.00 (PGA)	0.688	2740.336	0.459	0.670	1.093%	0.422
	0.20 (S_s)	1.389	2641.842	0.926	1.365	1.059%	0.851
	1.00 (S_L)	0.467	2561.459	0.311	0.462	1.031%	0.286
Cusco	0.00 (PGA)	0.455	2961.874	0.303	0.435	1.169%	0.279
	0.20 (S_s)	0.935	2915.211	0.623	0.897	1.153%	0.574
	1.00 (S_L)	0.400	2774.505	0.266	0.388	1.105%	0.245

Fuente: Toledo Espinoza, Vlacev

Dichas aceleraciones S_S y S_+ son modificadas por los coeficientes de sitio F_a y F_v respectivamente para cada tipo de periodo de la **Tabla N° 6** y **Tabla N° 7**, de acuerdo a las propiedades del suelo encontrado en la ubicación de diseño. El resultando son las aceleraciones de espectro de respuesta de sitio, para periodo corto (S_{MS}) y para periodo largo (S_{M1}) [74].

$$S_{MS} = S_S * F_a \quad \text{Ec. 166}$$

$$S_{M1} = S_1 * F_v \quad \text{Ec. 167}$$

Tabla N° 6 – Coeficiente de sitio para Periodo Corto (F_a)

Coeficientes de Sitio de Periodo Corto (F_a)						
Tipo del Suelo	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
B	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
C	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
D	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
E*	2.40	1.70	1.30	-	-	-
F*	-	-	-	-	-	-

Fuente: ASCE 7 – 16 (2017)

Tabla N° 7 – Coeficiente de Sitio para Periodo Largo (F_v)

Coeficiente de Sitio de Periodo $T = 1s$ (F_v)						
Tipo del Suelo	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.50$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.00$	$S_1 = 1.25$	$S_1 \geq 1.50$
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
B	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
C	1.50	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
D	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.70
E*	4.20	1.70	1.30	-	-	-
F*	-	-	-	-	-	-

Fuente: ASCE 7 – 16 (2017)

Además, el valor de la aceleración espectral de Diseño puede ser obtenido siguiendo lo indicado en **Ecuación 168** y **Ecuación 169** mayorando las aceleraciones de espectro de respuesta de sitio (S_{MS} y S_{M1}). Los cuales corresponden a puntos de inflexión del diagrama de la aceleración de espectro de respuesta (S_a) [74].

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \text{Ec. 168}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \text{Ec. 169}$$

3.7.3.2. Centro de Masa y Ratio Pt

Para el cálculo del ratio Pt, relación entre el periodo traslacional con el periodo torsional, se requiere identificar la distancia entre el centro de cada unidad de aislación con el centro de masa de la planta del sistema aislado para ambas direcciones. El cuadrado de las distancias en las dos direcciones se suman ($x_i^2 + y_i^2$), la sumatoria se divide entre el número de aisladores en el sistema (N). La raíz cuadrada de la resultante se dividirá entre el radio de giro (r_1), establecida en ecuación [59].

$$P_t = \frac{1}{r_1} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \quad \text{Ec. 170}$$

La constante r_1 corresponde al radio de giro del sistema aislado, el cuál puede ser obtenido mediante **Ecuación 171**. Donde las variables de “b” y “d” corresponde a las dimensiones de un plano rectangular [59].

$$r_1 = \sqrt{\left(\frac{(b^2 + d^2)}{12}\right)} \quad \text{Ec. 171}$$

3.7.3.3. Amortiguamiento y Periodo

El diseño de aislamiento es un proceso iterativo, en donde tanto el porcentaje de amortiguamiento del sistema (β) como el periodo (T) para los casos de análisis, cambiarán constantemente hasta llegar a las condiciones deseadas.

El porcentaje de amortiguamiento dependerá el factor de amortiguamiento B_M , el cual varía logarítmicamente en función al porcentaje de amortiguamiento de acuerdo a **Ecuación 172** [59].

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta} \quad \text{Ec. 172}$$

El factor de amortiguamiento está dado en la **Tabla N° 8**, el cual aumenta directamente al porcentaje de amortiguamiento. Se recomienda interpolar los valores [59].

Tabla N° 8 – Factor de amortiguamiento (B_M)

Factor de Amortiguamiento	
β_M	B_M
≤ 2	0.80
5	1.00
10	1.20
20	1.50
30	1.70
40	1.90
≥ 50	2.00

Fuente: ASCE 7 – 16 (2017)

3.7.3.4. Desplazamiento Máximo y Máximo Total

El sistema de aislamiento deberá ser diseñado para que cada unidad de aislación soporte como mínimo, el máximo desplazamiento (D_M) indicando en cálculos [59]. El cuál es determinado para cada caso de análisis en la dirección más crítica.

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad \text{Ec. 173}$$

Donde,

- D_M = Desplazamiento Máximo
- S_{M1} = Aceleración de Suelo para $s=1$
- T_M = Periodo Efectivo
- B_M = Factor de Amortiguamiento

El desplazamiento mínimo que debe presentar el centro de masa del sistema de aislamiento es denominado Desplazamiento Máximo Total (D_{MT}). El cuál corresponde al Desplazamiento Máximo mayorado por efectos de la torsión y torsión accidental que podría presentar a consecuencias de la acción sísmica [59].

$$D_{MT} = D_M * \left(\frac{y}{P_t^2} \right) * \frac{12e}{b^2 + d^2} \quad \text{Ec. 174}$$

Donde,

- D_{MT} = Desplazamiento Máximo Total
- D_M = Desplazamiento Máximo
- y = Distancia al centro de gravedad más desfavorable
- P_t = Factor de Amortiguamiento
- e = Excentricidad entre centro de masa y gravedad
- b = Dimensión menor de edificación
- d = Dimensión mayor de edificación

Ecuación 174 muestra que el factor de modificación está en función a las características geométricas de planta del sistema aislado. Considerando la excentricidad real (e) y accidental entre el centro de masa y el centro de rigidez en la dirección más desfavorable. Donde la excentricidad accidental es tomada como el 5% de la dimensión horizontal mayor [59].

$$e = e_{real} + e_{acc} \quad \text{Ec. 175}$$

3.7.3.5. Factores de Modificación

Las especificaciones de los materiales y comportamiento histerético de los distintos tipos de unidades de aislación son facilitadas en los catálogos por los proveedores. Donde las especificaciones de los aisladores están dados para deformaciones por corte equivalente a la unidad. Sin embargo, para el diseño del sistema de aislamiento es necesario estudiar su respuesta ante las fuerzas horizontales para un rango de mayor amplitud en donde la estructura se desenvuelve, estableciendo un límite mínimo (inferior) o máximo (superior).

Los límites para el rango histerético se obtienen mediante **Ecuación 176** para límite inferior y **Ecuación 177** para límite superior. Las variables son obtenidas de la información estandarizada en las **Tabla N° 9** y **Tablas N° 10** [59].

$$\lambda_{min} = \left[\left(1 - \left(0.75 * (1 - \lambda_{(ae,min)}) \right) \right) * \lambda_{(test,min)} * \lambda_{(tspec,min)} \right] \quad \text{Ec. 176}$$

$$\lambda_{max} = \left[\left(1 + \left(0.75 * (\lambda_{(ae,max)} - 1) \right) \right) * \lambda_{(test,max)} * \lambda_{(tspec,max)} \right] \quad \text{Ec. 177}$$

El modificador para el límite inferior como máximo debe ser menor o igual a 0.85 ($\lambda_{max} \leq 0.85$); así como el modificador para límite superior deberá ser como mínimo mayor o igual a 1.20 ($\lambda_{max} \geq 1.20$) [59].

Tabla N° 9 – Modificadores del Factor de Modificación para calidad conocida

Múltiplicadores para Productoras de Calidad					
	1. Desliza.	2. HDRB	3. LDRB	4. Otros Elastom.	5. Otro Sistema
Desgaste y Factores Ambientales					
Límite Superior $\lambda(ae, \max.)$	1.00	1.20	1.10	1.10	1.00
Límite Inferior $\lambda(ae, \min.)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factores de Evaluación					
Límite Superior $\lambda(\text{test}, \max.)$	1.00	1.30	1.03	1.03	1.00
Límite Inferior $\lambda(\text{test}, \min.)$	1.00	0.95	0.98	0.98	1.00
Tolerancia Límite Superior $\lambda(\text{spec}, \max.)$	1.00	1.15	1.15	1.15	1.00
Tolerancia Límite Inferior $\lambda(\text{spec}, \min.)$	1.00	0.85	0.85	0.85	1.00

Fuente: ASCE 7-16 (2017)

Tabla N° 10 – Modificadores del Factor de Modificación para calidad desconocida

Múltiplicadores para Productoras de Calidad Desconocido					
	1. Desliza.	2. HDRB	3. LDRB	4. Otros Elastom.	5. Otro Sistema
Desgaste y Factores Ambientales					
Límite Superior $\lambda(ae, \max.)$	1.00	1.40	1.30	1.30	1.00
Límite Inferior $\lambda(ae, \min.)$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factores de Evaluación					
Límite Superior $\lambda(\text{test}, \max.)$	1.00	1.50	1.30	1.30	1.00
Límite Inferior $\lambda(\text{test}, \min.)$	1.00	0.90	0.90	0.90	1.00
Tolerancia Límite Superior $\lambda(\text{spec}, \max.)$	1.00	1.15	1.15	1.15	1.00
Tolerancia Límite Inferior $\lambda(\text{spec}, \min.)$	1.00	0.85	0.85	0.85	1.00

Fuente: ASCE 7-16 (2017)

3.7.3.6. Peso Sísmico

Es el peso de la edificación calculado como la sumatoria de la carga muerta y el 25% de la carga viva [67]. Está medido en newton (N) para uniformidad de unidades con las otras variables de cálculo, debe ser evaluado por separado tanto de la superestructura como para subestructura.

3.7.3.7. Rigidez Efectiva Mínima por Unidad

El reglamento ASCE 7 – 16 establece el periodo efectivo T_M en función de la rigidez efectiva del sistema aislado (K_M) en la **Ecuación 180**. Por lo que, considerando que el periodo efectivo es un valor estimado al inicio de los cálculos, la ecuación se despeja para determinar la rigidez mínima admisible que debería poseer el sistema de aislamiento [59].

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{K_M * g}} \quad \text{Ec. 178}$$

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{K_M}} \quad \text{Ec. 179}$$

$$K_M = m * \left(\frac{2\pi}{T_M}\right)^2 \quad \text{Ec. 180}$$

De este cálculo se determina la rigidez efectiva mínima (K_{eff}) que cada unidad de aislación seleccionada debe tener, al dividir la rigidez efectiva del sistema (K_M) entre el número de unidades de aislación a implementar [59].

$$K_{eff} = \frac{K_M}{n} \quad \text{Ec. 181}$$

3.7.4. Diseño de Sistema de Aislación HDRB

3.7.4.1. Diámetro Mínimo

Las distintas unidades de aislación facilitadas por el proveedor están ordenadas de acuerdo a la longitud de su diámetro exterior, siendo 600 mm el menor diámetro comercial disponible. El cuál debe ser capaz de soportar las fuerzas verticales provenientes del peso de la superestructura.

Para determinar el diámetro mínimo requerido, se identifican las cargas axiales soportadas por el aislador seleccionado; del que se conoce su esfuerzo máximo vertical. Del área resultante se obtiene la medida del diámetro que deberá ser menor al del aislador analizado. **Ecuación 184**

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{A_{aisla}} \quad \text{Ec. 182}$$

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{\left(\pi \frac{D_{aisla}^2}{4}\right)} \quad \text{Ec. 183}$$

$$D_{aisla} = 2 * \sqrt{\frac{Pu}{\pi * \sigma_{aisla}}} \quad \text{Ec. 184}$$

3.7.4.2. Diseño Histerético del Aislamiento

a. Especificaciones de la Goma

En el catálogo del proveedor, Bridgestone. Los aisladores de Alto Amortiguamiento (HDRB) son separadores de acuerdo al diámetro de la unidad de aislación, el espesor y a las propiedades de las capas de gomas dispuestas intercaladamente en el cuerpo. Siendo separadas en tres grupos: X0.3R, X0.4S y X0.6R [55].

Tabla N° 11 – Propiedades de goma para aisladores HDRB

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)	Equivalent damping ratio H_{eq}
X3R	X0.3R	0.300	0.17
X4S	X0.4S	0.392	0.24
X6R	X0.6R	0.620	0.24

Fuente: Bridgestone (2017)

b. Características Geométricas

Conocer las dimensiones de las unidades de aislación es crucial para determinar su comportamiento y resistencia ante las fuerzas horizontales de sismo. Las medidas requeridas para el diseño se muestran a continuación [55].

- Diámetro exterior del aislador (D_i)
- Diámetro interior del aislador (D_o)
- Diámetro exterior de la brida (D_f)
- Área efectiva del aislador (A)
- Espesor de la capa de goma (T_r)
- Número de capas de goma (n)

- Espesor total de la goma (H)
- Espesor del plato de acero (ts)
- Altura total (Ht)
- Peso total (Pt)
- Primer factor de forma (S1)
- Segundo factor de forma (S2)

c. **Deformación por Corte**

La deformación por corte está (γ) definido como la relación entre el desplazamiento del aislador (D_M) y la altura efectiva del mismo, el cual corresponde a la altura total de la goma (H) [55]. Asimismo, como el desplazamiento máximo está analizado para condiciones de límite inferior y superior del rango histerético, la deformación por corte tendrá valores distintos para ambos casos.

$$\gamma = \frac{D_M}{H} \quad \text{Ec. 185}$$

d. **Módulo de Corte**

Bridgestone en las especificaciones técnicas del catálogo provee las ecuaciones para determinar el módulo de corte del aislador (G_{eq}), en función a la deformación por corte [55]. De acuerdo a la serie a la que pertenezca la unidad implementada, como se muestra en **Tabla N° 11**.

Los valores obtenidos para el módulo de corte, se multiplican con los factores de modificación de las **Ecuación 186** y **Ecuación 187** para ambos casos de límite.

$$G_{eq \text{ mod inf}} = G_{eq} * \lambda_{min} \quad \text{Ec. 186}$$

$$G_{eq \text{ mod sup}} = G_{eq} * \lambda_{max} \quad \text{Ec. 187}$$

El resultante es el módulo de corte equivalente modificado ($G_{eq \text{ mod}}$) del cuál dependerán las demás propiedades histeréticas para los límites.

e. Ratio de Amortiguamiento Equivalente

El amortiguamiento de una unidad de aislación (H_{eq}) se encuentra en **Tabla N° 11**. Las cuales provienen de las ecuaciones descritas en la **Imagen N° 17** y que varían de acuerdo al módulo de deformación por corte (γ).

Imagen N° 17 – Propiedades de goma según deformación por corte

● Rubber material X0.3R ($0.1 \leq \gamma \leq 3.0$)	$G_{eq}(\gamma) = 0.0255 \gamma^4 - 0.2213 \gamma^3 + 0.7283 \gamma^2 - 1.1028 \gamma + 0.8703$ $H_{eq}(\gamma) = -0.005 \gamma^3 + 0.015 \gamma^2 - 0.006 \gamma + 0.166$ $u(\gamma) = -0.0087 \gamma^3 + 0.0262 \gamma^2 - 0.0105 \gamma + 0.2720$
● Rubber material X0.4S ($0.1 \leq \gamma \leq 2.7$)	$G_{eq}(\gamma) = 0.054 \gamma^4 - 0.416 \gamma^3 + 1.192 \gamma^2 - 1.583 \gamma + 1.145$ $H_{eq}(\gamma) = -0.007 \gamma^3 + 0.020 \gamma^2 - 0.009 \gamma + 0.236$ $u(\gamma) = -0.0132 \gamma^3 + 0.0401 \gamma^2 - 0.0190 \gamma + 0.4001$
● Rubber material X0.6R ($0.1 \leq \gamma \leq 2.7$)	$G_{eq}(\gamma) = 0.620 \times [0.1364 \gamma^4 - 1.016 \gamma^3 + 2.903 \gamma^2 - 3.878 \gamma + 2.855]$ $H_{eq}(\gamma) = 0.240 \times [0.02902 \gamma^3 - 0.1804 \gamma^2 + 0.2364 \gamma + 0.9150]$ $u(\gamma) = 0.408 \times [0.03421 \gamma^3 - 0.2083 \gamma^2 + 0.2711 \gamma + 0.9028]$

Fuente: Bridgestone (2017)

f. Ratio de Fuerza Característica

El ratio de fuerza características para un ciclo histerético (u) de la unidad de aislación es definido de acuerdo a las propiedades del caucho utilizado en la capas intercaladas, en **Imagen N° 17** [55].

g. Rigidez al Corte

Las rigideces determinan los puntos de inflexión en el diagrama de ciclos histeréticos, representados en las **Imagen N° 13**, **Imagen N° 14** e **imagen N° 15** para K_{eq} , K_1 y K_d respectivamente. Siendo valores distintos ya sea para el análisis en límite inferior para el límite superior. La rigideces involucradas son la rigidez equivalente, rigidez inicial y rigidez post-fluencia. Expresadas en kN/m.

La rigidez a la cortante equivalente (K_{eq}) multiplica el módulo de corte modificado ($G_{eq\ mod}$) con la relación entre el área (A) con la altura total de la goma (H) [55]. La implementación de los factores de modificación en el módulo de corte, asegura que los valores obtenidos en base a las propiedades cortantes este orientados a los límites del rango histerético, inferior y superior.

$$K_{eq} = G_{eq} * \frac{A}{H} \quad \text{Ec. 188}$$

La rigidez post-fluencia (K_2) está en función a la rigidez efectiva como una reducción a causa del ratio de fuerza característica, formulado en **Ecuación 188**. A su vez, la rigidez post-fluencia corresponde al 10% de la rigidez inicial (K_1), esta relación está estandarizada por el proveedor **Ecuación 190** [55].

$$K_2 = K_{eq} * (1 - u) \quad \text{Ec. 189}$$

$$K_1 = 10 * K_2 \quad \text{Ec. 190}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de rigidez con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la rigidez del sistema. Valores para rigidez equivalente total ($k_{eq \text{ total}}$), rigidez inicial total ($k_1 \text{ total}$) y rigidez post-fluencia total ($k_2 \text{ total}$).

$$K_{eq \text{ total}} = n * K_{eq} \quad \text{Ec. 191}$$

$$K_1 \text{ total} = n * K_1 \quad \text{Ec. 192}$$

$$K_2 \text{ total} = n * K_2 \quad \text{Ec. 193}$$

h. Resistencia Característica

Otra propiedad relacionada a la cortante, es la resistencia característica del aislador al desplazamiento por fuerzas horizontales. Definida como la fuerza en la que el desplazamiento es nulo, está en función a la rigidez a la cortante equivalente y el módulo de corte [55].

$$Q_d = u * K_{eq} * H * \gamma \quad \text{Ec. 194}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de la resistencia característica con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la resistencia a la cortante del sistema. Corresponde al valor de la resistencia característica Total (Q_d total).

$$Q_{d\ total} = n * Q_d \quad \text{Ec. 195}$$

i. Energía por Ciclo Histerético

En el diagrama de ciclos histeréticos, la energía del ciclo (ΔW) corresponde por el área encerrada dentro de la línea. Siendo utilizado para el cálculo del ratio de amortiguamiento equivalente, dato que es conocido en el diseño. Se puede utilizar la **Ecuación 197** para deducir el valor de la energía por ciclo [55].

$$H_{eq} = \frac{\Delta W}{(2\pi * K_{eq} * \delta^2)} \quad \text{Ec. 196}$$

$$\Delta W = H_{eq} * 2\pi * K_{eq} * \delta^2 \quad \text{Ec. 197}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer la energía total acumulada por las unidades de aislación de un mismo tipo dentro del sistema en un ciclo histerético. Corresponde al valor de la energía por ciclo Total (ΔW total).

$$\Delta W_{total} = n * \Delta W \quad \text{Ec. 198}$$

j. **Desplazamiento y Fuerza por Fluencia**

El desplazamiento por fluencia (D_y) y la fuerza de Fluencia que genera ese movimiento (F_y) corresponden al punto en donde el comportamiento del aislador pasa de la zona elástica a la inelástica. Por lo que, considerando que la rigidez inicial (K_1) y la rigidez post-fluencia (K_2) son pendientes del desplazamientos por fluencia para el rango elástico y el inelástico respectivamente como se muestra en la **Imagen N° 11**. El valor de D_y y F_y se calculan en función a la resistencia característica en **Ecuación 199** y **Ecuación 200** [55].

$$D_y = \frac{Qd}{K_1 - K_2} \quad \text{Ec. 199}$$

$$F_y = Qd + K_2 * D_y \quad \text{Ec. 200}$$

k. **Fuerza Total Aplicada**

En la **Imagen N° 10** la fuerza total aplicada ($F_{ISOLATOR}$) corresponde a la fuerza horizontal que genera el mayor desplazamiento (D_M) del aislador. Conociendo la rigidez K_2 es la pendiente entre el desplazamiento máximo y Fuerza Característica, se puede deducir su cálculo en **Ecuación 201** [55].

$$F_a = Qd + k_2 * D_M \quad \text{Ec. 201}$$

1. Rigidez a la compresión Vertical

La rigidez a la compresión vertical (K_v) relaciona el Área y la altura total de la goma del aislador con el módulo de elasticidad a compresión (E_c). Variable cuyo valor que corresponde a la **Ecuación 203** [55].

$$K_v = E_c * \frac{A}{H} \quad \text{Ec. 202}$$

$$E_c = \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{1 + \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{E_\infty}} \quad \text{Ec. 203}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se recomienda conocer la rigidez a la compresión que las unidades aislación de un mismo tipo aportan al sistema de aislación. Corresponde al valor de rigidez a la compresión vertical Total (K_v total).

$$K_v = n * K_v \quad \text{Ec. 204}$$

3.7.5. Diseño del Sistema de Aislación LRB

3.7.5.1. Diámetro Mínimo

Las distintas unidades de aislación facilitadas por el proveedor están ordenadas de acuerdo a la longitud de su diámetro exterior, siendo 600 mm el menor diámetro comercial disponible. El cuál debe ser capaz de soportar las fuerzas verticales provenientes del peso de la superestructura.

Para determinar el diámetro mínimo requerido, se identifican las cargas axiales soportadas por el aislador seleccionado; del que se conoce su esfuerzo máximo vertical. Del área resultante se obtiene la medida del diámetro que deberá ser menor al del aislador analizado. **Ecuación 207**

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{A_{aisla}} \quad \text{Ec. 205}$$

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{\left(\pi \frac{D_{aisla}^2}{4}\right)} \quad \text{Ec. 206}$$

$$D_{aisla} = 2 * \sqrt{\frac{Pu}{\pi * \sigma_{aisla}}} \quad \text{Ec. 207}$$

3.7.5.2. Diseño Histerético del Aislamiento

a. Especificaciones de la Goma

En el catálogo del proveedor, Bridgestone. Los aisladores de núcleo de plomo (LRB) son separadores de acuerdo al diámetro exterior de la unidad, el espesor de las capas intercaladas de goma y el diámetro del núcleo de plomo.

Las propiedades de la goma para aisladores LRB son únicas sin importar el tipo. Los valores del módulo de Young (E), Módulo de Compresibilidad (E_{∞}) y el factor de corrección del módulo de Young (k) son mostrados en la **Tablas N° 12** [55].

Tabla N° 12 – Propiedades de la goma para LRB

Propiedades de Goma para Aisladores LRB		
Módulo de Young E (N/mm ²)	Módulo de Bulk E_{∞} (N/mm ²)	Factor de Corrección para Módulo de Young, k
2.20	1176	0.85

Fuente: Bridgestone (2017)

b. Características Geométricas

Conocer las dimensiones de las unidades de aislación es crucial para determinar su comportamiento y resistencia ante las fuerzas horizontales de sismo. Las medidas requeridas para el diseño se muestran a continuación [55].

- Diámetro exterior del aislador (D_o)
- Diámetro del núcleo de acero (D_i)
- Área efectiva del aislador (A_r)
- Área del núcleo de plomo (A_p)
- Espesor de la capa de goma (t_r)
- Número de capas de goma (n)
- Espesor total de la goma (H)
- Altura total (H_t)
- Peso total (P_t)
- Primer factor de forma (S_1)
- Segundo factor de forma (S_2)

c. Deformación por Corte

La deformación por corte está definido como la relación entre el desplazamiento del aislador (D_M) y la altura efectiva del mismo, el cual corresponde a la altura total de la goma (H) [55]. Asimismo, como el desplazamiento máximo está analizado para condiciones de límite inferior y superior del rango histerético, la deformación por corte tendrá valores distintos para ambos casos.

$$\gamma = \frac{D_M}{H} \quad \text{Ec. 208}$$

d. **Módulo de Corte**

Para aisladores de núcleo de plomo, debido a que las propiedades de los materiales de las capas de gomas y el núcleo de plomo son las mismas para todos los tipos disponibles. Bridgestone indica que el módulo de corte de la goma (G_r) equivale a 0.385 N/mm², así como el módulo de corte aparente del plomo (α_p) es de 0.583 N/mm² [55].

Estos valores que deben ser multiplicados por los factores de modificación de las **Ecuación 176** y **Ecuación 177** para ambos casos de límite. Dando como resultados los módulos de corte modificados $G_{r \text{ mod}}$ y $\alpha_{p \text{ mod}}$, de los cuales dependerán las demás propiedades histeréticas para los límites.

$$G_{r \text{ mod inf}} = G_r * \lambda_{min} \quad \text{Ec. 209}$$

$$G_{r \text{ mod sup}} = G_r * \lambda_{max} \quad \text{Ec. 210}$$

$$\alpha_{p \text{ mod inf}} = \alpha_p * \lambda_{min} \quad \text{Ec. 211}$$

$$\alpha_{p \text{ mod sup}} = \alpha_p * \lambda_{max} \quad \text{Ec. 212}$$

e. **Esfuerzo al Corte por fluencia**

El esfuerzo al corte por fluencia del núcleo de plomo (σ_{pb}) es de 7.967 N/mm² para las propiedades estandarizados [55]. Dicho valor debe ser modificado con los factores para límite inferior y superior, para el esfuerzo al corte modificado ($\sigma_{pb\ mod}$).

$$\sigma_{pb\ mod\ inf} = \sigma_{pb} * \lambda_{min} \quad \text{Ec. 213}$$

$$\sigma_{pb\ mod\ sup} = \sigma_{pb} * \lambda_{max} \quad \text{Ec. 214}$$

f. **Ratio de Amortiguamiento Equivalente**

El amortiguamiento de una unidad de aislación (H_{eq}) viene dada por la **Ecuación 215** [55]. Se obtiene en función a la relación entre la rigidez post-fluencia (K_d) y rigidez equivalente (K_{eq}) con la fuerza característica (Q_d). Como se observa a continuación.

$$H_{eq} = \frac{2}{\pi} * \frac{Q_d * \left(\gamma * H - \frac{Q_d}{(\beta - 1) * k_d} \right)}{K_{eq} * (\gamma * H)^2} \quad \text{Ec. 215}$$

g. **Factores de Corrección (C_{kd} , C_{Qd} y α_v)**

Debido a las constantes en los valores del módulo de corte (G_r) y el esfuerzo al cortante por fluencia (σ_{pb}) en los aisladores LRB, se requiere que estos sean modificadores por factores de corrección en función a la deformación por corte (γ) del aislador, con la finalidad de ajustar las propiedades histeréticas con mayor precisión.

El factor de corrección para rigidez post-fluencia (C_{kd}) está regido por tres condiciones de la deformación por corte: **Ecuación 217** para valores de $\gamma < 0.25$, **Ecuación 218** para $0.25 \leq \gamma < 1.00$ y **Ecuación 219** cuando $1.00 \leq \gamma < 2.50$ [55].

$$C_{kd} \begin{cases} 0.779\gamma^{-0.43} \\ \gamma^{-0.25} \\ \gamma^{-0.12} \end{cases} \quad \text{Ec. 216}$$

$$0.779\gamma^{-0.43} \quad [\gamma < 0.25] \quad \text{Ec. 217}$$

$$\gamma^{-0.25} \quad [0.25 \leq \gamma < 1.00] \quad \text{Ec. 218}$$

$$\gamma^{-0.12} \quad [1.00 \leq \gamma < 2.50] \quad \text{Ec. 219}$$

Al igual que para el de rigidez, el factor de corrección para la fuerza característica (C_{Qd}) presenta tres condiciones en función de la deformación por corte: **Ecuación 221** para valores de $\gamma \leq 0.10$, **Ecuación 222** para $0.10 \leq \gamma < 0.50$ y **Ecuación 223** cuando $0.50 \leq \gamma$ [55].

$$C_{Qd} \begin{cases} 2.036\gamma^{0.41} \\ 1.106\gamma^{0.145} \\ 1 \end{cases} \quad \text{Ec. 220}$$

$$0.779\gamma^{-0.43} \quad [\gamma \leq 0.10] \quad \text{Ec. 221}$$

$$\gamma^{-0.25} \quad [0.10 \leq \gamma < 0.50] \quad \text{Ec. 222}$$

$$\gamma^{-0.12} \quad [0.50 \leq \gamma] \quad \text{Ec. 223}$$

Así mismo, con relación a la rigidez a la compresión por cargas verticales (K_v). El módulo de Young (E) requerido para el cálculo debe ser ajustado mediante el factor de corrección α_v , cuyo valor es de 1.23.

h. Rigidez al Corte (K_{eq} , K_1 y K_d)

Las rigideces determinan los puntos de inflexión en el diagrama de ciclos histeréticos, representados en las **Imagen N° 13**, **Imagen N° 14** e **imagen N° 15** para K_{eq} , K_1 y K_d respectivamente. Siendo valores distintos ya sea para el análisis en límite inferior para el límite superior. La rigideces involucradas son la rigidez equivalente, rigidez inicial y rigidez post-fluencia. Expresadas en kN/m.

Para este tipo de aisladores, la rigidez a la cortante equivalente (K_{eq}) se obtiene en base a la fuerza característica resistente a cortante (Q_d) adicionando el valor de la rigidez post-fluencia (K_d) expresado en **Ecuación 224** [55].

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma * H} + K_d \quad \text{Ec. 224}$$

La rigidez post-fluencia del aislador (K_2) corresponde a la sumatoria de las rigideces a la cortante de la goma (K_r) y del núcleo de plomo (K_p). Ambos valores provienen de **Ecuación 225** y **Ecuación 226** respectivamente. En donde relacionan el módulo cortante de cada elemento con su superficie y la altura efectiva de goma (H) [55].

$$K_r = G_{r\ mod} * \frac{A_r}{H} \quad \text{Ec. 225}$$

$$K_p = \alpha_{p\ mod} * \frac{A_p}{H} \quad \text{Ec. 226}$$

La resultante de las sumatoria debe ser multiplicada por el factor de corrección para rigidez post-fluencia (C_{kd}).

$$K_d = C_{kd} * (K_r + K_p) \quad \text{Ec. 227}$$

Se dispone que para la rigidez inicial, se amplifica la rigidez post-fluencia por un coeficiente recomendado de 13 [55].

$$K_1 = \beta * K_d \quad \text{Ec. 228}$$

$$K_1 = 13K_d \quad \text{Ec. 229}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de rigidez con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la rigidez del sistema. Valores para rigidez equivalente total ($k_{eq \text{ total}}$), rigidez inicial total ($k_1 \text{ total}$) y rigidez post-fluencia total ($k_2 \text{ total}$).

$$K_{eq \text{ total}} = n * K_{eq} \quad \text{Ec. 230}$$

$$K_1 \text{ total} = n * K_1 \quad \text{Ec. 231}$$

$$K_2 \text{ total} = n * K_2 \quad \text{Ec. 232}$$

i. Resistencia Característica

En los aisladores LRB, la resistencia característica (Q_d) es la variable en la que otras propiedades cortantes fundamentales para el diseño, como la rigidez equivalente (K_{eq}) y el ratio de amortiguamiento equivalente (H_{eq}) se basan.

Se fundamenta en el valor constante de 7.967 N/mm² del esfuerzo a la cortante por fluencia (σ_{pb}) en la sección transversal del núcleo de plomo. Valor que se ajusta con un factor de corrección C_{Qd} de las **Ecuación 221**, **Ecuación 222** y **Ecuación 223** [55].

$$Q_d = C_{Qd} * \sigma_{pb} * A_p \quad \text{Ec. 233}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de la resistencia característica con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la resistencia a la cortante del sistema. Corresponde al valor de la resistencia característica Total (Q_d total).

$$Q_{d\ total} = n * Q_d \quad \text{Ec. 234}$$

j. Energía por Ciclo Histerético

En el diagrama de ciclos histeréticos, la energía del ciclo (ΔW) corresponde por el área encerrada dentro de la línea. Siendo utilizado para el cálculo del ratio de amortiguamiento equivalente, dato que es conocido en el diseño. Se puede utilizar la **Ecuación 236** para deducir el valor de la energía por ciclo [55].

$$H_{eq} = \frac{\Delta W}{(2\pi * K_{eq} * \delta^2)} \quad \text{Ec. 235}$$

$$\Delta W = H_{eq} * 2\pi * K_{eq} * \delta^2 \quad \text{Ec. 236}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer la energía total acumulada por las unidades de aislación de un mismo tipo dentro del sistema en un ciclo histerético. Corresponde al valor de la energía por ciclo Total (ΔW total).

$$\Delta W_{total} = n * \Delta W \quad \text{Ec. 237}$$

k. **Desplazamiento y Fuerza por Fluencia**

El desplazamiento por fluencia (D_y) y la fuerza de Fluencia que genera ese movimiento (F_y) corresponden al punto en donde el comportamiento del aislador pasa de la zona elástica a la inelástica. Por lo que, considerando que la rigidez inicial (K_1) y la rigidez post-fluencia (K_2) son pendientes del desplazamientos por fluencia para el rango elástico y el inelástico respectivamente como se muestra en la **Imagen N° 11**. El valor de D_y y F_y se calculan en función a la resistencia característica en **Ecuación 238** y **Ecuación 239** [55].

$$D_y = \frac{Qd}{K_1 - K_2} \quad \text{Ec. 238}$$

$$F_y = Qd + K_2 * D_y \quad \text{Ec. 239}$$

l. **Fuerza Total Aplicada**

En la **Imagen N° 10** la fuerza total aplicada (F_{ISOLATOR}) corresponde a la fuerza horizontal que genera el mayor desplazamiento (D_M) del aislador. Conociendo la rigidez K_2 es la pendiente entre el desplazamiento máximo y Fuerza Característica, se puede deducir su cálculo en **Ecuación 200**.

$$F_a = Qd + k_2 * D_M \quad \text{Ec. 240}$$

m. **Rigidez a la compresión Vertical**

La rigidez a la compresión vertical (K_v) relaciona el Área total del aislador, sumatoria entre el área efectiva y el área del núcleo de plomo, con la altura de goma efectiva (H). La resultante deberá ser multiplicada por el módulo de elasticidad a compresión (E_c) de la **Ecuación 202** modificado por el factor de corrección [55].

$$K_v = \alpha_v * E_c * \frac{A}{H} \quad \text{Ec. 241}$$

$$E_c = \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{1 + \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{E_\infty}} \quad \text{Ec. 242}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se recomienda conocer la rigidez a la compresión que las unidades aislación de un mismo tipo aportan al sistema de aislación. Corresponde al valor de rigidez a la compresión vertical Total (K_v total).

$$K_v = n * K_v \quad \text{Ec. 243}$$

3.7.6. Diseño del Sistema de Aislación FPS

3.7.6.1. Carga Axial Máxima

Los aisladores de péndulo friccionante se seleccionan de acuerdo a su capacidad para soportar cargas puntuales a compresión provenientes de la estructura. Por lo que para un análisis inicial se recomienda obtener las cargas de servicio transmitida por cada columna a las unidades de aislación, e identificar la carga máxima actuante expresada en kN.

Las cargas a compresión aplicadas sobre el asiento del aislador deberán ser menor a la carga axial máxima soportada de acuerdo al tipo de unidad escogida.

3.7.6.2. Características Geométricas

Conocer las dimensiones de las unidades de aislación es crucial para determinar su comportamiento y resistencia ante las fuerzas horizontales de sismo. Las medidas requeridas para el diseño se muestran a continuación [57].

- Diámetro superficie cóncava (D_c)
- Radio de curvatura de la superficie cóncava (R_c)
- Diámetro del deslizador de acero (D_R)
- Área efectiva del deslizador de acero (A_R)
- Altura del deslizador (H_R)
- Radio de curvatura efectivo (R_{ceff})

3.7.6.3. Propiedades del Aislador

a. Esfuerzo a la Compresión

Es la resistencia a fuerzas axiales a compresión de la unidad de aislación, está dado por la fracción del peso que soporta (W_{AISLA}) sobre el área del núcleo deslizante utilizado (A_R). Está expresado en kN/mm²

$$\sigma = \frac{W_{AISLA}}{A_R} \quad \text{Ec. 244}$$

$$\sigma = \frac{M_{AISLA} * 9.81}{A_R} \quad \text{Ec. 245}$$

b. Coeficiente de Fricción

El análisis de los aisladores contempla dos tipos de coeficientes de fricción de acuerdo al ciclo histerético en el que se desarrolla, coeficiente de fricción de baja velocidad (μ_{\min}) para el primer ciclo histerético y de alta velocidad (μ_{\max}) para los siguientes [75].

$$\mu_{\min} = 0.122 - 0.01\sigma \quad \text{Ec. 246}$$

$$\mu_{\max} = 1.2\mu_{\min} \quad \text{Ec. 247}$$

El coeficiente de fricción para bajas velocidad se obtiene en función al esfuerzo a compresión del aislador según **Ecuación 250**, al que adicionalmente se adiciona un coeficiente de corrección de -0.033 [76]. Además, del coeficiente para bajas velocidades al multiplicar al amplificar por un factor de 1.20 se determina el coeficiente para altas velocidades [77].

Ambas expresiones de coeficientes de fricción son necesarias para calcular el valor del coeficiente de fricción total, el cual es expresado como una relación entre el coeficiente de baja velocidad entre el de alta velocidad; sin embargo al ser una relación su valor será constante sin importa cuánto varíe los coeficientes mencionados.

$$\mu = \frac{\mu_{\min}}{\mu_{\max}} \quad \text{Ec. 248}$$

$$\mu = \frac{\mu_{\min}}{1.2\mu_{\min}} \quad \text{Ec. 249}$$

$$\mu = 0.833 \quad \text{Ec. 250}$$

Específicamente en el caso de los FPS, la fricción es el coeficiente en donde se fundamentan todas las demás propiedades histeréticas del aislador. Por la cual será necesario ajustar este valor de acuerdo a los factores de modificación de propiedades (λ_{lower} y λ_{upper}).

c. **Capacidad de Desplazamiento**

De acuerdo a las características geométricas del plato de superficie cóncava y el deslizador sobre él, el espacio para el desplazamiento libre del aislador se puede conocer como la diferencia entre los radios de ambos elementos. A esta longitud se le puede denominar desplazamiento nominal. Este valor de desplazamiento se espera que sea menor al 20% de la curvatura efectiva del plato cóncavo [75] [78].

$$D_N = \frac{(D_C - D_R)}{2} \quad \text{Ec. 251}$$

$$D_{max} = 0.2D_N \quad \text{Ec. 252}$$

No obstante, el desplazamiento nominal esperado debe ser ajustado para considerar los efectos de la curvatura de la base cóncava; constante que es indicada como el ratio entre la curvatura efectiva (R_{ceff}) y la curvatura existente (R_c), sirviendo como un factor de reducción [75].

$$D_{real} = D_N * \frac{R_{ceff}}{R_c} \quad \text{Ec. 253}$$

d. **Estabilidad del Aislador**

La condición de estabilidad del núcleo deslizante corresponde al ratio entre la altura y su diámetro, el cual se espera sea un valor menor a la unidad [75].

$$\frac{Hr}{Dr} < 1 \quad \text{Ec. 254}$$

3.7.6.4. **Factores de Modificación**

A diferencia de los sistemas de aislación Elastomérico que se enfocan en su resistencia característica, para los casos de aisladores enfocados en la fricción (interfaz μ) como los aisladores de péndulo friccionante. Los coeficientes de desgaste (λ_{ae}), evaluación (λ_{test}) y tolerancia (λ_{spec}) de los factores de modificación son los expuestos en **Tabla N° 13** [55].

Tabla N° 13 – Modificadores para aisladores FPS de buena calidad

Múltiplicadores para Productoras de Calidad		
	Interfaz μ , sin lubricar	Interfaz μ , lubricada
Desgaste y Factores Ambientales		
Límite Superior $\lambda(ae, \text{max.})$	1.00	1.21
Límite Inferior $\lambda(ae, \text{mín.})$	1.00	1.00
Factores de Evaluación		
Límite Superior $\lambda(\text{test}, \text{max.})$	1.00	1.39
Límite Inferior $\lambda(\text{test}, \text{mín.})$	1.00	0.95
Tolerancia Límite Superior $\lambda(\text{spec}, \text{max.})$	1.00	1.15
Tolerancia Límite Inferior $\lambda(\text{spec}, \text{mín.})$	1.00	0.85

Fuente: ASCE 7 – 16 (2017)

Tabla N° 14 – Modificadores para aisladores FPS de calidad desconocida

Múltiplicadores para Productoras de Calidad Desconocido		
	Interfaz μ , sin lubricar	Interfaz μ , lubricada
Desgaste y Factores Ambientales		
Límite Superior $\lambda(ae, \text{max.})$	1.00	1.56
Límite Inferior $\lambda(ae, \text{mín.})$	1.00	1.00
Factores de Evaluación		
Límite Superior $\lambda(\text{test}, \text{max.})$	1.00	1.30
Límite Inferior $\lambda(\text{test}, \text{mín.})$	1.00	0.70
Tolerancia Límite Superior $\lambda(\text{spec}, \text{max.})$	1.00	1.15
Tolerancia Límite Inferior $\lambda(\text{spec}, \text{mín.})$	1.00	0.85

Fuente: ASCE 7 – 16 (2017)

3.7.6.5. Rigidez al Corte (K_{eq} , K_1 y K_d)

Las rigideces determinan los puntos de inflexión en el diagrama de ciclos histeréticos, representados en las **Imagen N° 13**, **Imagen N° 14** e **imagen N° 15** para K_{eq} , K_1 y K_d respectivamente. Siendo valores distintos ya sea para el análisis en límite inferior para el límite superior. La rigideces involucradas son la rigidez equivalente, rigidez inicial y rigidez post-fluencia. Expresadas en kN/m.

Para este tipo de aisladores, la rigidez a la cortante equivalente (K_{eq}) se obtiene en base a la rigidez post-fluencia (K_d) adicionándole la relación entre la resistencia característica (Q_d) y el desplazamiento máximo (D_M), expresado en **Ecuación 255** [75].

$$K_{eq} = K_d + \frac{Q_d}{D_M} \quad \text{Ec. 255}$$

La rigidez post-fluencia del aislador (K_2 o K_d) corresponde a la relación entre la fracción del peso de la superestructura aplicado (W_{isol}) sobre el asiento de apoyo dividido por el radio de curvatura efectivo R_{Ceff} [75].

$$K_d = \frac{W_{isol}}{R_{Ceff}} \quad \text{Ec. 256}$$

Por otro lado, a diferencia de los casos anteriores de elastoméricos en donde la rigidez inicial (K_1) era la rigidez post-fluencia mayorada. Para los aisladores dependientes de la fricción, la rigidez inicial es directamente la pendiente en el diagrama histerético del desplazamiento por fluencia (D_y) con la fuerza que lo produce (F_y), valores que ya son conocidos como se explicará adelante [75].

$$K_1 = \frac{F_y}{D_y} \quad \text{Ec. 257}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de rigidez con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la rigidez del sistema. Valores para rigidez equivalente total ($k_{eq \text{ total}}$), rigidez inicial total ($k_{1 \text{ total}}$) y rigidez post-fluencia total ($k_{2 \text{ total}}$).

$$K_{eq \text{ total}} = n * K_{eq} \quad \text{Ec. 258}$$

$$K_{1 \text{ total}} = n * K_1 \quad \text{Ec. 259}$$

$$K_{2 \text{ total}} = n * K_2 \quad \text{Ec. 260}$$

3.7.6.6. Resistencia Característica

En FPS, se entienda a la resistencia característica (Q_d) como la fuerza horizontal producida por la carga normal (W_{AISL}), en este caso de la transmitida por la superestructura, modificada por el coeficiente de fricción del material [75]. Considerando además que este coeficiente de fricción (μ) debe estar modificado para los límites inferiores y superiores del rango de análisis

$$Q_d = \mu * W_{aisl} \quad \text{Ec. 261}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de la resistencia característica con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la resistencia a la cortante del sistema. Corresponde al valor de la resistencia característica Total (Q_d total).

$$Q_{d\ total} = n * Q_d \quad \text{Ec. 262}$$

3.7.6.7. Energía por Ciclo Histerético

En el diagrama de ciclos histeréticos, la energía del ciclo (ΔW) corresponde por el área encerrada dentro de la línea. Por lo que geométricamente, despreciando el efecto de la curvatura en el resultado puede calcular con la **Ecuación 263**.

$$\Delta W = 4 * Q_d * (D_M - D_y) \quad \text{Ec. 263}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer la energía total acumulada por las unidades de aislación de un mismo tipo dentro del sistema en un ciclo histerético. Corresponde al valor de la energía por ciclo Total (ΔW total).

$$\Delta W_{total} = n * \Delta W \quad \text{Ec. 264}$$

a. **Desplazamiento y Fuerza por Fluencia**

El desplazamiento por fluencia (D_y) y la fuerza de Fluencia que genera ese movimiento (F_y) corresponden al punto en donde el comportamiento del aislador pasa de la zona elástica a la inelástica. Por lo que, considerando que la rigidez inicial (K_1) y la rigidez post-fluencia (K_2) son pendientes del desplazamientos por fluencia para el rango elástico y el inelástico respectivamente (**Imagen N° 11**). El valor de F_y se calcula en función a la resistencia característica en **Ecuación 265** [59].

$$F_y = Qd + K_2 * F_y \quad \text{Ec. 265}$$

Asimismo, a diferencia de los otros sistemas. El desplazamiento por fluencia del sistema de aislación está relacionado con el radio de curvatura de la superficie cóncava efectivo (R_c) y la fricción de su material (μ). El resultado deberá ser amplificado o reducido por el factor de modificación (λ) [75].

$$D_y = \lambda * R_c * \mu \quad \text{Ec. 266}$$

b. Fuerza Total Aplicada

En la **Imagen N° 10** la fuerza total aplicada ($F_{ISOLATOR}$) corresponde a la fuerza horizontal que genera el mayor desplazamiento (D_M) del aislador. Conociendo la rigidez K_2 es la pendiente entre el desplazamiento máximo y Fuerza Característica, se puede deducir su cálculo en **Ecuación 267**.

$$Fa = Qd + k_2 * D_M \quad \text{Ec. 267}$$

c. Rigidez a la compresión Vertical

La rigidez a la compresión vertical (K_v) relaciona el Área y la altura total de la goma del aislador con el módulo de elasticidad a compresión (E_c). Valor constante estimado en 187500000 kN/m [75].

$$K_v = E_c * \frac{A}{H} \quad \text{Ec. 268}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se recomienda conocer la rigidez a la compresión que las unidades aislación de un mismo tipo aportan al sistema de aislación. Corresponde al valor de rigidez a la compresión vertical Total (K_{vtotal}).

$$K_v = n * K_v \quad \text{Ec. 269}$$

3.7.7. Aislador Deslizador

3.7.7.1. Diámetro Mínimo

Las distintas unidades de aislación facilitadas por el proveedor están ordenadas de acuerdo a la longitud de su diámetro exterior, siendo 300 mm el menor diámetro comercial disponible. El cuál debe ser capaz de soportar las fuerzas verticales provenientes del peso de la superestructura.

Para determinar el diámetro mínimo requerido, se identifican las cargas axiales soportadas por el aislador seleccionado; del que se conoce su esfuerzo máximo vertical. Del área resultante se obtiene la medida del diámetro que deberá ser menor al del aislador analizado. **Ecuación 272**

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{A_{aisla}} \quad \text{Ec. 270}$$

$$\sigma_{aisla} = \frac{Pu}{\left(\pi \frac{D_{aisla}^2}{4}\right)} \quad \text{Ec. 271}$$

$$D_{aisla} = 2 * \sqrt{\frac{Pu}{\pi * \sigma_{aisla}}} \quad \text{Ec. 272}$$

3.7.7.2. Diseño Histerético del Aislamiento

a. Especificaciones de la Goma

En el catálogo del proveedor, Bridgestone. Los deslizadores son separadores de acuerdo al diámetro de la unidad de aislación, el espesor y a las propiedades de las capas de gomas. Así como el de sus delgadas capaces de acero inoxidable intercaladas [55].

b. Características Geométricas

Conocer las dimensiones de las unidades de aislación es crucial para determinar su comportamiento y resistencia ante las fuerzas horizontales de sismo. Las medidas requeridas para el diseño se muestran a continuación [55].

- Diámetro exterior del aislador (D_o)
- Diámetro exterior de la brida (D_f)
- Dimensión exterior de plato SUS (L_2)
- Área efectiva del aislador (A)
- Espesor de la capa de goma (T_r)
- Número de capas de goma (n)
- Espesor total de la goma (H)
- Espesor del plato de acero (t_s)
- Espesor del plato SUS (t_s)
- Peso del plato SUS (P_s)
- Altura total (H_t)
- Peso total (P_t)
- Primer factor de forma (S_1)
- Segundo factor de forma (S_2)

c. **Deformación por Corte**

La deformación por corte está definido como la relación entre el desplazamiento del aislador (D_M) y la altura efectiva del mismo, el cual corresponde a la altura total de la goma (H) [55]. Asimismo, como el desplazamiento máximo está analizado para condiciones de límite inferior y superior del rango histerético, la deformación por corte tendrá valores distintos para ambos casos.

$$\gamma = \frac{D_M}{H} \quad \text{Ec. 273}$$

d. **Módulo de Corte**

En las especificaciones técnicas del producto el módulo de corte del aislador (G_{eq}), están indicado como 1.18 N/mm² para el tipo de material de goma utilizado (G4) [55]. Además, los valores obtenidos para el módulo de corte, se multiplican con los factores de modificación de las **Ecuación 274** y **Ecuación 275** para ambos casos de límite.

$$G_{eq \text{ mod inf}} = G_{eq} * \lambda_{min} \quad \text{Ec. 274}$$

$$G_{eq \text{ mod sup}} = G_{eq} * \lambda_{max} \quad \text{Ec. 275}$$

El resultante es el módulo de corte equivalente modificado ($G_{eq \text{ mod}}$) del cuál dependerán las demás propiedades histeréticas para los límites.

e. **Desplazamiento Último Admisible**

Es una medida determinada por la diferencia entre el diámetro del deslizador y la mayor dimensión del plato de desplazamiento SUS en donde se moverá. El resultante corresponde al desplazamiento total que podrá realizar para ambos sentidos en una dirección, por lo que deberá ser dividido entre dos para el desplazamiento último [55].

$$Du = \frac{L_2 - D_o}{2} \quad \text{Ec. 276}$$

f. **Ratio de Amortiguamiento Equivalente**

El amortiguamiento de una unidad de aislación (H_{eq}) viene dada por la **Ecuación 277** [55]. Se obtiene en función a la relación entre la energía disipada por ciclo (ΔW) y rigidez equivalente (K_{eq}) para el desplazamiento máximo (D_M).

$$H_{eq} = \frac{\Delta W}{2\pi * K_{eq} * D_M} \quad \text{Ec. 277}$$

g. **Rigidez al Corte**

Las rigideces determinan los puntos de inflexión en el diagrama de ciclos histeréticos, representados en las **Imagen N° 13**, **Imagen N° 14** e **imagen N° 15** para K_{eq} , K_1 y K_d respectivamente. Siendo valores distintos ya sea para el análisis en límite inferior para el límite superior. La rigideces involucradas son la rigidez equivalente, rigidez inicial y rigidez post-fluencia. Expresadas en kN/m.

En deslizadores, el diagrama histerético posee una forma más estable en donde el valor de la rigidez post-fluencia (K_2) es inexistente. Lo que se representa como una línea horizontal constante a partir que la unidad de aislación pasa la fluencia (F_y), sin fallar. Permitiendo el desplazamiento sin algún aporte de rigidez extra [55].

Conociendo lo anterior, se entiende que el valor de fuerza de fluencia (F_y) es la máxima fuerza que soporta para provocar el desplazamiento máximo (D_M). Por lo que para este tipo de aisladores, la rigidez equivalente (K_{eq}) corresponde a la pendiente modificado por un factor de reducción de 0.956.

$$K_{eq} = 0.956 * \frac{F_y}{D_M} \quad \text{Ec. 278}$$

Al no haber rigidez post-fluencia (K_2), la rigidez inicial es trabajada en función al módulo de corte (G_{eq}) multiplicado por el ratio entre el área efectiva del aislador (A) y la altura de goma (H) [55].

$$K_1 = \frac{G_{eq} * A}{H} \quad \text{Ec. 279}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de rigidez con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la rigidez del sistema. Valores para rigidez equivalente total ($k_{eq \text{ total}}$), rigidez inicial total ($k_1 \text{ total}$) y rigidez post-fluencia total ($k_2 \text{ total}$).

$$K_{eq \text{ total}} = n * K_{eq} \quad \text{Ec. 280}$$

$$K_1 \text{ total} = n * K_1 \quad \text{Ec. 281}$$

$$K_2 \text{ total} = n * K_2 \quad \text{Ec. 282}$$

h. Esfuerzo a la compresión vertical

Es la resistencia a fuerzas axiales a compresión de la unidad de aislación, está dado por la fracción del peso que soporta (W_{AISLA}) sobre el área del núcleo deslizante utilizado (A_R). Está expresado en kN/mm².

$$\sigma = \frac{W_{AISLA}}{A_R} \quad \text{Ec. 283}$$

$$\sigma = \frac{M_{AISLA} * 9.81}{A_R} \quad \text{Ec. 284}$$

i. Coefficiente de Fricción

Como todo tipo de deslizador, la fricción en la superficie inferior del dispositivo es una característica crucial para el desarrollo de función y cálculo de propiedades. La cual varía dependiendo la velocidad a la que se ve afectada el sistema de aislación. Siendo la menor velocidad de 0.10 mm/s [55]. Por otro lado la velocidad máxima que alcanza la edificación ante un movimiento sísmico corresponde al desplazamiento máximo (D_M) que se produce durante el periodo efectivo (T_M).

$$V_B = 0.10 \text{ mm/s} \quad \text{Ec. 285}$$

$$V_A = \frac{D_M}{T_M} \quad \text{Ec. 286}$$

Al conocer el valor de las velocidades actuantes y el esfuerzo a compresión en el que se encuentra el deslizador. Las especificaciones técnicas del producto facilita el cálculo del coeficiente de fricción para casos de velocidad baja y alta [55].

$$\mu_B = (0.112 - 0.00276\sigma)V^{0.08563} \quad \text{Ec. 287}$$

j. Resistencia Característica

Se entienda a la resistencia característica (Q_d) como la fuerza horizontal producida por la carga normal (W_{AISL}), en este caso de la transmitida por la superestructura, modificada por el coeficiente de fricción del material [55].

$$Q_d = \mu * W_{aisl} \quad \text{Ec. 288}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer el aporte de la resistencia característica con que las unidades de aislación de un mismo tipo contribuyen a la resistencia a la cortante del sistema. Corresponde al valor de la resistencia característica Total (Q_d total).

$$Q_{d\ total} = n * Q_d \quad \text{Ec. 289}$$

k. Energía por Ciclo Histerético

En el diagrama de ciclos histeréticos, la energía del ciclo (ΔW) corresponde por el área encerrada dentro de la línea. Por lo que geométricamente, despreciando el efecto de la curvatura en el resultado puede calcular con la **Ecuación 290**.

$$\Delta W = 4 * Q_d * (D_M - D_y) \quad \text{Ec. 290}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se requiere conocer la energía total acumulada por las unidades de aislación de un mismo tipo dentro del sistema en un ciclo histerético. Corresponde al valor de la energía por ciclo Total (ΔW total).

$$\Delta W_{total} = n * \Delta W \quad \text{Ec. 291}$$

l. Desplazamiento y Fuerza por Fluencia

El desplazamiento por fluencia (Dy) y la fuerza de Fluencia que genera ese movimiento (Fy) corresponden al punto en donde el comportamiento del aislador pasa de la zona elástica a la inelástica. Por lo que, considerando que la rigidez inicial (K_1) y la rigidez post-fluencia (K_2) son pendientes del desplazamientos por fluencia para el rango elástico y el inelástico respectivamente (**Imagen N° 11**). El valor de Dy y Fy se calculan en función a la resistencia característica en **Ecuación 292** y **Ecuación 293** [55].

$$Dy = \frac{Qd}{K_1 - K_2} \quad \text{Ec. 292}$$

$$Fy = Qd + K_2 * Dy \quad \text{Ec. 293}$$

m. Fuerza Total Aplicada

Como se mencionó anteriormente, para deslizadores la fuerza máxima que produce el desplazamiento corresponde a la fuerza de fluencia, por lo que no ha rigidez post-fluencia que produzca un incremento adicional a esta fuerza.

$$Fa = Fy \quad \text{Ec. 294}$$

n. Rigidez a la compresión Vertical

La rigidez a la compresión vertical (K_v) relaciona el Área y la altura total de la goma del aislador con el módulo de elasticidad a compresión (E_c) modificado por el factor de corrección α_v el cual es de 1.0 [55].

$$K_v = \alpha_v * E_c * \frac{A}{H} \quad \text{Ec. 295}$$

$$E_c = \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{1 + \frac{E(1 + 2k * S_1^2)}{E_\infty}} \quad \text{Ec. 296}$$

Para el diseño del sistema de aislación, se recomienda conocer la rigidez a la compresión que las unidades aislación de un mismo tipo aportan al sistema de aislación. Corresponde al valor de rigidez a la compresión vertical Total (K_v total).

$$K_v = n * K_v \quad \text{Ec. 297}$$

3.7.7. Amortiguamiento y Periodo Efectivo Final

3.7.7.1. Propiedades Cortante del Sistema

Las propiedades relacionadas a la fuerza cortante del análisis realizado a cada aislador utilizado se deben acumular para determinar el comportamiento general del sistema. Estos se pueden calcular de **Ecuación 298**, **Ecuación 299**, **Ecuación 300**, **Ecuación 301** y **Ecuación 302** multiplicando las propiedades resistentes por el número de aisladores de un mismo tipo. Estos corresponden a Rigidez Equivalente Total, Rigidez Post-Fluencia Total, Rigidez Inicial Total, Fuerza Característica Total y Energía por Ciclo Total Respectivamente.

$$K_{eq\ total} = n * K_{eq} \quad \text{Ec. 298}$$

$$K_{1\ total} = n * K_1 \quad \text{Ec. 299}$$

$$K_{2\ total} = n * K_2 \quad \text{Ec. 300}$$

$$Q_{d\ total} = n * Q_d \quad \text{Ec. 301}$$

$$\Delta W_{total} = n * \Delta W \quad \text{Ec. 302}$$

3.7.7.2. Amortiguamiento Equivalente

Conociendo el valor de la energía producida por el comportamiento histerético del sistema en su conjunto. El valor del ratio de amortiguamiento equivalente (H_{eq} o β_M) resulta de dividir la energía (ΔW_{TOTAL}) entre la rigidez equivalente del sistema (K_{eq}) y el desplazamiento máximo que produce (D_M) [59].

$$H_{eq} = \frac{\Delta W}{2\pi * K_{eq} * D_M} \quad \text{Ec. 303}$$

3.7.7.3. Factor de Amortiguamiento

Del ratio de amortiguamiento resultante, el factor de amortiguamiento (B_M) se calcula en base a **Ecuación 172** [59].

3.7.7.4. Periodo Efectivo

El peso sísmico obtenido del análisis de la estructura en su totalidad, expresado en kN, se divide entre la acción de la gravedad y conseguir el valor de la masa sísmica en kN*s²/m. El cuál es empleado para determinar el periodo efectivo (T_M) en la que la estructura responde, en **Ecuación 304** [59].

$$T_M = 2\pi * \sqrt{\frac{M_{SÍSMICO}}{K_{eq\ total}}} \quad \text{Ec. 304}$$

El periodo efectivo final, se obtiene mediante un proceso consecutivo de tanteos en donde se busca que el periodo ingresado en el análisis sea el mismo obtenido en base a las propiedades histeréticas finales del sistema. Dicho valor será distinto de acuerdo al caso en el que es analizado, siendo un valor alto si es para el límite inferior o por el contrario un valor bajo para el límite superior.

3.7.7.5. Fuerza de Amortiguamiento

En el análisis dinámico, se indica que de la ecuación del movimiento oscilatorio amortiguado (**Ecuación 307**), se puede deducir la fuerza de amortiguación (D_F) en base a la fuerza de inercia ($m\ddot{x}$) y la fuerza restauradora (Kx) [51].

$$m\ddot{x} + D_F + kx = 0 \quad \text{Ec. 305}$$

$$D_F = -(m\ddot{x} + kx) \quad \text{Ec. 306}$$

$$D_F = 2\beta\sqrt{m * K_{eq}} \quad \text{Ec. 307}$$

Como se desea obtener la fuerza de amortiguamiento del sistema de aislación, al ratio de amortiguamiento se le retira el 5% correspondiente al amortiguamiento propio de la estructura de concreto.

$$D_F = 2(\beta_{eff} - 0.05)\sqrt{m * K_{eq}} \quad \text{Ec. 308}$$

3.7.7.6. Desplazamiento Máximo

Conociendo el valor del periodo efectivo del sistema de aislación, mediante la **Ecuación 309** se determinar el valor del desplazamiento máximo (D_M) [59].

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad \text{Ec. 309}$$

3.7.7.7. Convergencias

El diseño y selección de las unidades de aislación, son un proceso iterativo en donde se deben ingresar valores iniciales de periodo (T) y amortiguamiento (β), para diseñar cada unidad de aislación independientemente y poder determinar el comportamiento del sistema antes las fuerzas sísmica, como el desplazamiento máximo que soportaría.

Una vez conocidas las propiedades del sistema en base a cálculos, se determina el valor de salida del periodo (T_M) y el desplazamiento máximo (D_M) que provoca para límite inferior y para límite superior. Resultado que deberá ser dividido entre el los datos de ingreso con la finalidad de obtener una relación o convergencia igual a la unidad.

3.7.8. Fuerza Cortante en la Estructura

Todos los elementos estructurales al nivel de la sub-estructura, cimentación y sistema de aislación, deben ser diseñados para una mínima fuerza horizontal actuante (V_b) [59]. La cuál no debe verse afectada por el coeficiente de reducción sísmica (R). Este valor de cortante es evaluado para ambos casos de estudio, límite inferior y límite superior.

$$V_d = K_M * D_M \quad \text{Ec. 310}$$

Respecto a la superestructura, la fuerza cortante que actúa en los elementos sobre el sistema de aislación (V_{st}) está determinada por la intensidad de la fuerza V_b , como se muestra a continuación en la **Ecuación 311** [59]. Para este análisis además, se requiere conocer el ratio de contribución del peso de la superestructura en el peso total de la edificación.

$$V_{st} = V_b \left(\frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.5\beta m)} \quad \text{Ec. 311}$$

Al igual que en la cortante de la sub-estructura (V_d), la fuerza cortante sobre la superestructura (V_{st}) no debe ser afectada por el factor de reducción.

3.7.9. Fuerza Cortante Total Reducida

Para un sistema de aislación el factor de reducción es de $R=2$ [59]. Debido a que la estructura no está empotrada directamente al terreno, la edificación no soporta directamente los efectos de la acción sísmica, por lo que no habría disipación de energía importante como en el caso de las estructuras catalogadas duales ($R = 7$) en el sistema tradicional. El factor de $R=2$ espera atenuar los efectos de las fuerzas horizontales en los entrepisos; en respuesta al desplazamiento de la interfaz de aislamiento.

La fuerza cortante de la superestructura se divide entre el factor de reducción $R=2$, para el cálculo de la cortante total.

$$V_T = \frac{V_{st}}{R} \quad \text{Ec. 312}$$

$$V_T = \frac{V_{st}}{2} \quad \text{Ec. 313}$$

3.7.10. Coefficiente de Respuesta Sísmica

La fuerza cortante actuante sobre la edificación, corresponde a una porción del peso sísmico. La relación entre ambos valores, es conocido como coeficiente de respuesta sísmica [59].

$$V = W * C_a \quad \text{Ec. 314}$$

$$C_a = \frac{W}{V} \quad \text{Ec. 315}$$

Al conocer el valor de la cortante y el peso sísmico, se puede conocer el valor del coeficiente. El cuál se interpreta como un porcentaje del peso sísmico. Además, como los casos anteriores, esta constante es analizada para ambos límites.

3.7.11. Fuerza Cortante en la Base

Las fuerzas horizontales en edificaciones aisladas se distribuyen verticalmente entre la sub-estructura y la superestructura. De manera que cada parte de la edificación, base y entrepisos, reciben una porción del valor total de la cortante.

Por lo que, cómo en el caso de cortante aplicada a la superestructura (V_{st}), la subestructura recibe una parte de la fuerza horizontal Total (F_1). La cuál se calcula substrayendo a la cortante total del sistema al nivel de la base (V_b), la cortante aplicada a la superestructura (V_{st}). Ambos divididos por el factor de reducción ($R=2$) [59].

$$F_1 = \frac{V_b - V_{st}}{R} \quad \text{Ec. 316}$$

3.7.12. Coeficiente del Periodo Fundamental

El coeficiente del periodo fundamental (k) usado en la distribución de fuerzas horizontales de la superestructura se calcula de acuerdo a **Ecuación 317** [59].

$$k = 14 * \beta_M * T_{fb} \quad \text{Ec. 317}$$

3.7.13. Factor de Distribución Vertical

Se debe separar el peso de la superestructura entre los aportes de peso de cada entrepiso (w_x); al igual que identificar la altura en la que se encuentran cada uno ellos (h_x), este último elevado por el coeficiente del periodo fundamental (k). De esta forma, la altura multiplicada por peso de cada entrepiso ($w_x h_x^k$) se dividen entre la sumatoria de estos mismos [59]. La resultante de esta relación es el factor de distribución vertical (C_{vx}), un factor de modificación único para cada nivel.

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n w_x h_x^k} \quad \text{Ec. 318}$$

Continuando, la fuerza cortante total (V_s) se modifica por cada uno de los factores de distribución vertical de los entrepisos. De esa forma se obtiene las fuerzas horizontales de sismo, debiendo ser analizadas para el límite inferior y límite superior [59].

$$F_x = C_{vx} * V_s \quad \text{Ec. 319}$$

Con las fuerzas horizontales de sismo, se procede a realizar el análisis estático.

3.7.14. Evaluación Estática

Las fuerzas horizontales obtenidas de la distribución horizontal de la cortante son aplicadas en el centro de masa de cada entrepiso. Para medir el desplazamiento y deformación angular que produce en la edificación, estos valores se esperan sea menor a 0.015 para el comportamiento histerético y 0.007 para comprobar la estabilidad estructural de la superestructura [74] [67].

A su vez es necesario comprobar la resistencia a cargas verticales de los aisladores en la sub estructura, las cuales producen aplastamiento en el núcleo de la unidad de aislación. Para este análisis, se recomienda utilizar las combinaciones indicadas a continuación [59].

$$AEST1 = Cm + 0.5Cv \quad \text{Ec. 320}$$

$$AEST2 = 1.2Cm + Ex \quad \text{Ec. 321}$$

$$AEST3 = 1.2Cm - Ex \quad \text{Ec. 322}$$

$$AEST4 = 1.2Cm + Ey \quad \text{Ec. 323}$$

$$AEST5 = 1.2Cm - Ey \quad \text{Ec. 324}$$

Estos combos se deben analizar para el límite inferior y límite superior del rango histerético.

3.7.15. Evaluación Dinámica

Del porcentaje de amortiguamiento proveniente del diseño de aislamiento, se modifican los periodos de los tres primeros modos fundamentales [75]. De estos valores se determinan desplazamientos y deformación angular que produce en la edificación, estos valores se esperan sea menor a 0.015 para el comportamiento histerético y 0.007 para comprobar la estabilidad estructural de la superestructura [74] [67].

A su vez es necesario comprobar la resistencia a cargas verticales de los aisladores en la sub estructura, las cuales producen aplastamiento en el núcleo de la unidad de aislación. Para este análisis, se recomienda utilizar las combinaciones indicadas a continuación [59].

$$ADIN1 = Cm + 0.5Cv \quad \text{Ec. 325}$$

$$ADIN2 = 1.2Cm + Ex \quad \text{Ec. 326}$$

$$ADIN3 = 1.2Cm - Ex \quad \text{Ec. 327}$$

$$ADIN4 = 1.2Cm + Ey \quad \text{Ec. 328}$$

$$ADIN5 = 1.2Cm - Ey \quad \text{Ec. 329}$$

Estos combos se deben analizar para el límite inferior y límite superior del rango histerético.

3.7.16. Espectro de Respuesta Tiempo Historia

3.7.16.1. Escalado de Registros

a. Probabilidad de Excedencia

La norma técnica peruana de diseño sísmoresistente “E0.30”, así como las normas técnicas en la mayoría de países latinoamericanos. Establecen los parámetros de diseño de acuerdo a estudios de riesgo sísmico y espectros de historia de respuesta máximos para un sismo catalogado severo o “raro” con probabilidad de excedencia del 10% en un periodo de retorno de 475 años como se indica en la tabla N° 15 [79].

Tabla N° 15 – Relación de probabilidad de excedencia según sismo

Sismo	Vida Útil T	Probabilidad de Excedencia P*	Periodo medio de Retorno, t_r	Tasa Anual de excedencia, p_1
Frecuente	30 años	50%	43 años	0.02310
Ocasional	50 años	50%	72 años	0.01386
Raro	50 años	10%	475 años	0.00211
Muy raro	100 años	10%	970 años	0.00105

Fuente: Diespro

En función a esta probabilidad del 10%, se establecieron las aceleraciones de respuesta de suelo (Z) y el espectro de respuesta de diseño (Sa). Ambos expresados como fracciones de la gravedad.

Sin embargo, para la norma ASCE las aceleraciones de respuesta se obtienen con una probabilidad de ocurrencia sísmica usada corresponde a un valor inferior del 2% para un periodo retorno de 1000 años y vida útil de 50 años [79]. Lo cual les permite refinar sus parámetros para un diseño de estructuras con mayor eficiencia y marcar las diferencias entre ambas normativas al momento de compararlas.

La diferencia existente entre las aceleraciones de respuesta de suelo entre la norma E0.30 y el ASCE 7 – 16, basados en las distintas probabilidades de riesgo sísmico utilizado, son la que señalan la incompatibilidad de diseño entre ambas normas. Como en el caso de los diseños de tecnología antisísmicas los cuales están establecidos únicamente para los requerimientos propios de su norma y sus condiciones de riesgo sísmico, pero que son usados para el diseño en otras regiones como consecuencia de la carencia de un reglamento propio.

Por esa razón, para eliminar el rango de diferencia entre ambos estándares, se debe pasar por un proceso de escalado de las aceleraciones de respuesta desde una probabilidad de excedencia de 10% a una inferior de 2% [79].

b. Escalamiento de Espectro

La probabilidad de excedencia sísmica puede ser expresada como una función ascendente en un diagrama de escala aritmética, en donde un aumento de aceleración espectral (MCE) corresponde a una reducción de la probabilidad sísmica, obtenido mediante el estudio de registros de acelerogramas pasados.

Imagen N° 18 – Zonificación Sísmica de suelos Según la E0.30

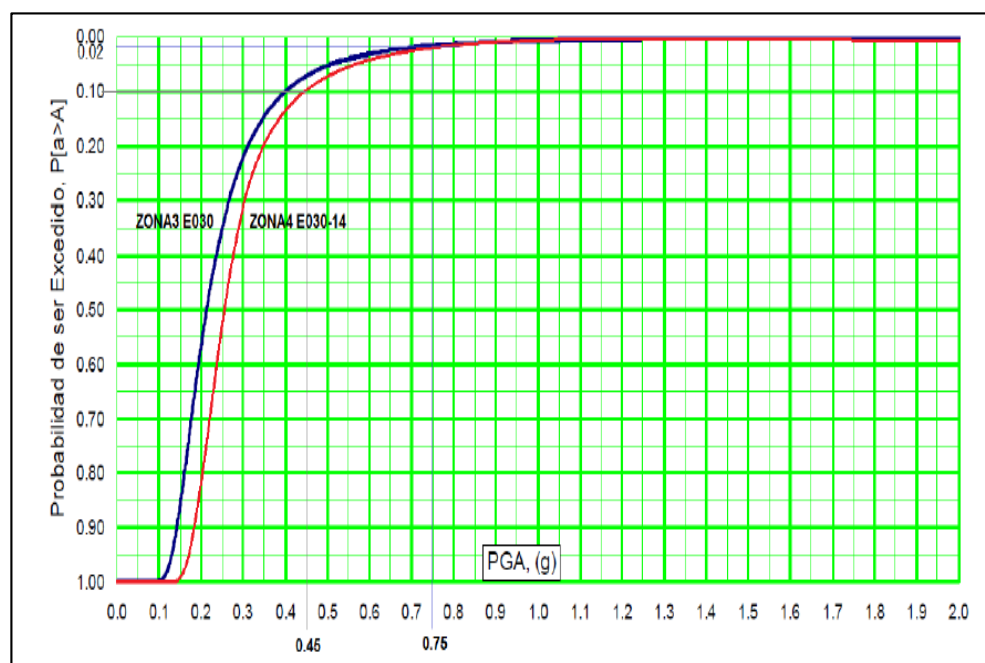


Fuente: E0.30 (2018)

Cada función dispuesta en el este diagrama probabilidad – aceleración está especialmente preparado para una zonificación específicamente. Con en el caso de la **Imagen N° 19** la cual corresponde al desarrollo de la zona sísmica 4 del reglamento peruano [67].

El escalado de aceleraciones de respuesta se usa especialmente para el análisis de los espectros de respuesta tiempo – historia obtenidos en los acelerogramas seleccionados para el estudio. Los cuales son medidos como aceleraciones (cm/s²) directamente proporcional al factor de suelo del epicentro del movimiento sísmico.

Gráfica N° 1 – Aceleración según probabilidad de excedencia en Zona 4



Fuente: DISEPRO (2016)

Considerando nuevamente el caso de la zona 4, en la **Imagen N° 19** se observa que para una probabilidad de 10%, la aceleración corresponde aproximadamente a 0.45 g por lo que extendiendo los resultados de la curva hacia un 2% de probabilidad, la aceleración sería equivalente a 0.75 g [79].

Para casos de 2% posibilidad, el valor de 0.75 de la gravedad es la aceleración máxima que se espera se produzca por un movimiento de terreno. Por dicha razón, un acelerograma escalado deberá presentar un PGA máximo equivalente a este valor, ambos expresados como fracción de la gravedad. La diferencia entre la aceleración espectral del suelo ($PGA_{objetivo}$) y la aceleración máxima del registro estudiado (PGA_{actual}) corresponden al factor de escala [79]. El factor obtenido es el que será multiplicado por los datos de aceleración de los registros para evaluar el modelamiento del sistema con los espectros de respuesta tiempo – historia.

$$n = \frac{PGA_{objetivo} (g)}{PGA_{actual} (g)} \quad \text{Ec. 330}$$

Con la finalidad de simplificar los procedimientos, el escalamiento ha sido realizado con un software especializado llamado SeismoMatch v16. Donde en conjunto con los valores del espectro y los límites de estudio indicados en **3.7.16.3.** para cada caso de aislamiento sísmico, se acorta el proceso de escalamiento del origen a la ubicación objetivo.

3.7.16.2. Selección de Acelerogramas

Para el análisis tiempo – historia del sistema de aislación se utilizó la información provista por los acelerogramas del CISMID, de los cuales para una mejor evaluación se recomiendan seleccionar como mínimo tres pares de registros; cuyas sentidos están expresados por EW para el sentido X y NS para el sentido Y.

Los registros están expresados en cm/s^2 , por lo que para el análisis se requerirá dejar expresados los PGAs en datos en función a la gravedad. Dividendo las aceleraciones por 981 cm/s^2 como se requiere para el escalado de espectros o multiplicarlo por un factor equivalentes de 0.001.

Específicamente para la evaluación de los casos de aislación se seleccionaron cinco pares de registros con magnitudes mayores a 5ML en la escala de Richter. La lista de registros seleccionados se presenta a continuación.

3.7.16.3. Periodos Límites

El reglamento E0.30 establece que para un análisis de Espectro de Respuesta Tiempo – Historia, el rango del periodo se encuentra entre **0.2T** para el límite inferior y **1.5T** para el límite superior [67]. Para casos de diseño aislado, el valor de T para 0.2T corresponde al T_M del límite superior y 1.5T al T_M del límite inferior [59].

3.7.16.4. Evaluación de Tiempo Historia

De los registros tiempo – historia se determina el desplazamiento de entrepiso y las deformaciones angulares (derivas) que se producen en la edificación. Las derivas deben ser menor a 0.02 según los requerimientos [74]. Adicionalmente se mide el desplazamiento vertical por aplastamiento que producen las cargas verticales derivadas de las fuerzas horizontales actuantes, esto se analiza con la finalidad de evitar la presencia de levantamiento o fuerzas de tracción.

Los combos utilizados para análisis de aplastamiento se calcula con cada para de movimiento sísmico, en el sentido X y Y, tanto para el valor negativo como el valor positivo. De acuerdo a los combos especificados [74].

$$AISL = Cm + 0.5Cv \quad \text{Ec. 331}$$

$$ATH1 = 1.2Cm + Ex \quad \text{Ec. 332}$$

$$ATH2 = 1.2Cm - Ex \quad \text{Ec. 333}$$

$$ATH3 = 1.2Cm + Ey \quad \text{Ec. 334}$$

$$ATH4 = 1.2Cm - Ey \quad \text{Ec. 335}$$

3.7.17. Consideraciones del Diseño Estructural

Cada límite analizado, inferior y superior, presentan sus propios esfuerzos y deformaciones como respuesta a las cortantes por sismo estático o dinámico, combinados por medio de los combos de diseño para estructuras convencionales. Ambos resultados son comparados y el límite que presente los valores máximos para cada combinación, incluyendo el envolvente; será el utilizado para el diseño estructural.

3.7.17.1. Diseño por Análisis Lineal Estático

Anteriormente en **Sección 3.7.13**, se calculó el valor de las fuerzas horizontales distribuidas en cada entrepiso para verificar el desplazamiento del sistema aislado. Para el diseño estructural, las fuerzas son reducidas a un $2/3$ de su valor inicial [59].

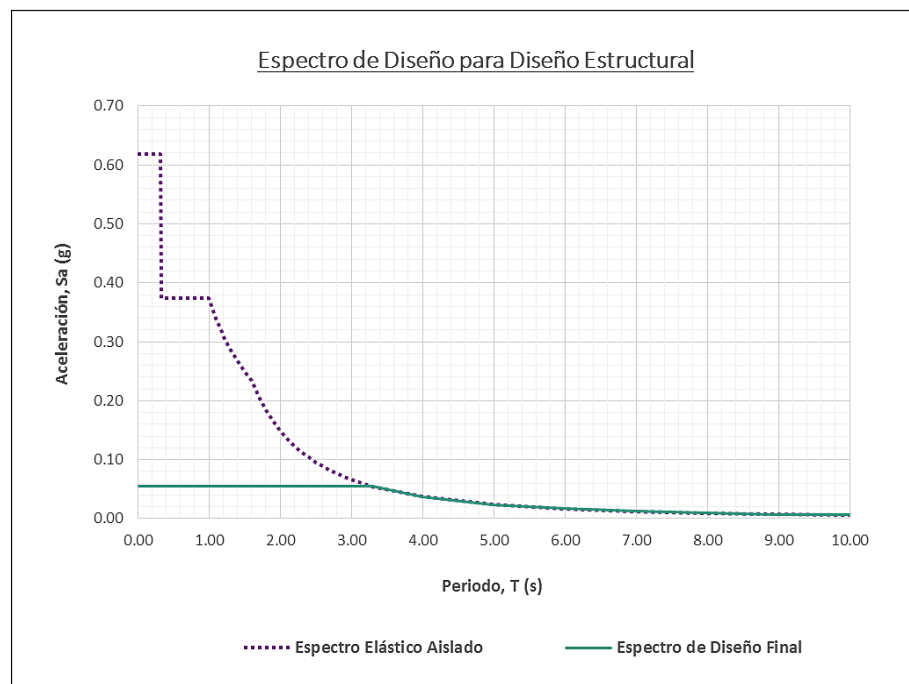
3.7.17.2. Diseño por Análisis Lineal Dinámico

Para la evaluación del comportamiento sísmico del sistema aislado por sismo dinámico, se implementaron dos espectros de diseño modificados para el límite inferior y para el límite superior, considerando el porcentaje de amortiguamiento respectivo. A cada límite analizado le correspondía un periodo efectivo de vibración; los cuales se relacionaban con su aceleración de la gravedad correspondiente, siendo uno mayor que el otro. Estos valores establecen los límites del rango en el espectro sísmico periodo (s) vs. Aceleración (cm/s²).

Considerando que la mayor parte de la cortante por sismo es mitigada por el desplazamiento del sistema de aislación. El diseño estructural se orienta a soportar la acción de los esfuerzos en los casos en donde la rigidez al cortante del sistema aislado sea mínima, o del límite inferior.

El espectro de diseño sísmico para el sistema aislado es modificado fijando un valor máximo de aceleración de la gravedad correspondiente al periodo efectivo considerado para el diseño. Los valores de aceleración se limitarán al máximo establecido, representados en una línea recta desde el periodo $T=0$ hasta el periodo efectivo de diseño (T_{eff}). Pasando este valor de tiempo, las aceleraciones continuarán decreciendo de acuerdo a las condiciones normales del diagrama de espectro de espectro elástico de aceleraciones.

**Gráfica N° 2 – Comparación entre los espectro de Pseudo-Aceleraciones
aislado vs diseño modificado**



Fuente: Propia

3.7.17.3. Diseño Estructural de Sistemas Aislados

El diseño estructural seguirá el proceso de diseño convencional, respetando los esfuerzos obtenidos por las combinaciones de diseño indicados en el reglamento; el valor de estos esfuerzos cambiará para cada caso según la capacidad amortiguamiento de las unidades estructurales.

a. Superestructura

En la superestructura, la unidad sobre la interfaz de aislamiento, las fuerzas cortantes sísmicas son obtenidas con base a un factor de reducción $R=2$, el mismo utilizado para la evaluación del comportamiento del sistema aislado para análisis estático y dinámico. Estos son adaptados según los lineamientos anteriormente mencionados en **3.7.17.1** y **3.7.17.2**, para los diseños por sismo estático y dinámico respectivamente.

b. Subestructura

Por otro lado, en la subestructura, unidad bajo la interfaz de aislamiento, las fuerzas cortantes son obtenidas con un factor de reducción $R=1$. Valor que asume que la unidad estructural no es capaz de disipar los efectos del sismo; mayorando los esfuerzos de diseño. No obstante, el proceso de diseño es el mismo que en la superestructura siguiendo lo explicado en **3.7.17.1** y **3.7.17.2**, para sismo estático y dinámico respectivamente.

3.7.17.4. Presupuesto de Estructuras

El presupuesto de estructuras se calcula mediante la medición de los elementos estructurales siguiendo los lineamientos de unidades de cada partida descrita en la norma técnicas de “Metrados para obras de edificación y habilitaciones urbanas”. Cada partidas estará relacionada con un costo unitario propio obtenido de cálculos adicionales actualizados al periodo de análisis. El costo total obtenido de la adición de las partidas corresponderá al costo directo de la edificación.

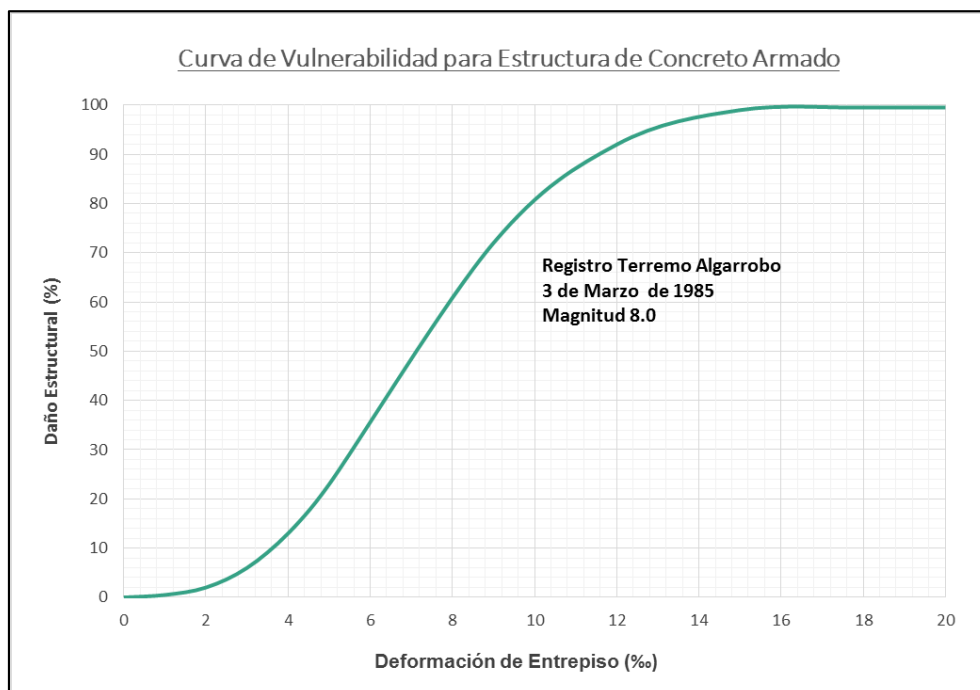
a. Costos por Daño Estructural

Son parte del estudio de vulnerabilidad sísmica, costos producidos después del culmino de la construcción cuando la edificación se ve afectada por el efecto de un movimiento sísmico. Usualmente no son calculados debido a su complejidad y a la cantidad de variables involucradas en la medición; sin embargo, se recomienda su cálculo al comparar costos en el diseño de sistemas aislados. Con la finalidad de determinar el rendimiento final de las estructuras.

Los costos por daños estructurales pueden ser calculados en base a numerosas teorías de vulnerabilidad, pero por facilidades de estudio se optó por utilizar curvas de vulnerabilidad ya establecidas para un caso sísmico similar al estudiado. No obstante, la normativa peruana actual no cuenta con registro estandarizado

Conociendo lo expuesto anteriormente, para este análisis se eligió la curva de vulnerabilidad construida a base de los registros del terremoto de Algarrobo, Chile en 1985. El cuál a su vez, fue utilizado para el análisis del edificio Vanguardia en Chile. [80] [81]

Gráfica N° 3 – Curva de vulnerabilidad en edificios de Concreto Armado



Fuente: Propia

En la **Gráfica N° 3**, el eje horizontal corresponde a los valores de deformación máxima de entrepiso (‰) obtenidos del análisis de derivas en la edificación, para el caso convencional y el aislado; mientras el eje vertical establece el daño estructural (%) ligado al valor de dicha deriva. El porcentaje medido de esta relación corresponderá a una fracción del presupuesto total de la edificación.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos

3.8.1. Estudio de suelos

- Excavación de Calicatas
- Recolección de muestra
- Ensayo de Muestra
- Cálculo de Resultados

3.8.2. Diseño Estructural Convencional

- Identificación de espacios, dimensiones y Ejes
- Predimensionamiento de elementos estructurales
- Modelamiento de Estructura
- Evaluación de Desplazamientos
- Verificación de Dimensiones finales
- Diseño de acero en estructuras
- Realizar planos estructurales

3.8.3. Diseño Sistema de Aislamiento

- Selección de unidades de aislamiento a utilizar
- Identificación y cálculo de propiedades histeréticas
- Obtención de periodo y amortiguamiento efectivo
- Implementación de propiedades en el modelamiento
- Desplazamientos para análisis estático y dinámico para $R=2$
- Desplazamiento para Espectros Tiempo – Historia para $R=1$
- Comprobación de Condiciones
- Replanteo y correcciones en el modelamiento
- Distribución del sistema de aislación final
- Diseño de estructuras de concreto de la superestructura $R=2$
- Diseño de estructuras de concreto de la sub estructura $R=1$
- Realizar planos estructurales

3.9. Matriz de consistencia

La información metodológica de la presente investigación se resume en la matriz de consistencia a continuación.

Tabla N° 16 – Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA			
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Es posible implementar tecnologías de protección sísmicas para edificios multifamiliares comunes en la ciudad de Chiclayo?	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN
	Diseñar y analizar el comportamiento de los tres tipos de aisladores sísmicos estudiados (HDRB, LRB y FPS) en el suelo chiclayano.	Diseño Estructural Comportamiento Histerético Presupuesto	Investigación Aplicada Descriptiva
	OBJETIVO ESPECÍFICOS	POBLACIÓN Y MUESTRA	
		<u>Población</u>	
		La población de estudio corresponde a las típicas edificaciones multifamiliares construidas en la ciudad de Chiclayo-Lambayeque.	
		<u>Muestra</u>	
		La muestra seleccionada corresponde a las viviendas multifamiliares tradicionales construidas en la zona I de la zonificación	
		<u>Diseño Estructural</u>	
		Platea de Cimentación Vigas de Cimentación Columnas Vigas Escalera Pedestal Inferior Pedestal Superior Losa de Aislamiento Vigas de Aislamiento Losa Aligerada Losa Maciza	
		<u>Comportamiento Histerético</u>	
		Periodo Efectivo Amortiguamiento Efectivo Desplazamientos	
		<u>Presupuesto</u>	
		Metrado Costos	

Fuente: propia

3.10. Consideraciones éticas

De acuerdo a los principios de la ética profesional del ingeniero civil, el presente estudio es considerado de riesgo nulo; aunque está orientado a una población vulnerable como es el caso de las viviendas multifamiliares del casco urbano de la ciudad de Chiclayo. De estos, la muestra ha sido seleccionada en conformidad con el propietario para el uso de su distribución arquitectónica y acceso al terreno orientado a la realización de los estudios de suelos solicitados.

La presente investigación tiene como finalidad de dar el primer paso en la evaluación de aislamiento sísmico en viviendas de carácter común entre las categorías establecidas por el reglamento nacional de edificaciones E0.30. Realizando cada paso del estudio fundamentado en una bibliografía debidamente indicada en el escrito y en las consideraciones éticas que un ingeniero debe tener presente:

- Por la trascendencia de su profesión, el ingeniero civil es responsable de su sociedad y de los estudios que pueda realizar para contribuir con el avance.
- El ingeniero civil tiene como deber proteger la vida de los pobladores mediante el correcto uso de materiales y procesos constructivos.
- Los estudios y diseños realizados en el presente informe están sujetos a constantes mejoras que pueda afinar los resultados del mismo, por lo tanto es necesario actualizar los datos provenientes de ensayos una vez pasada la fecha de presentación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Capacidad Portante

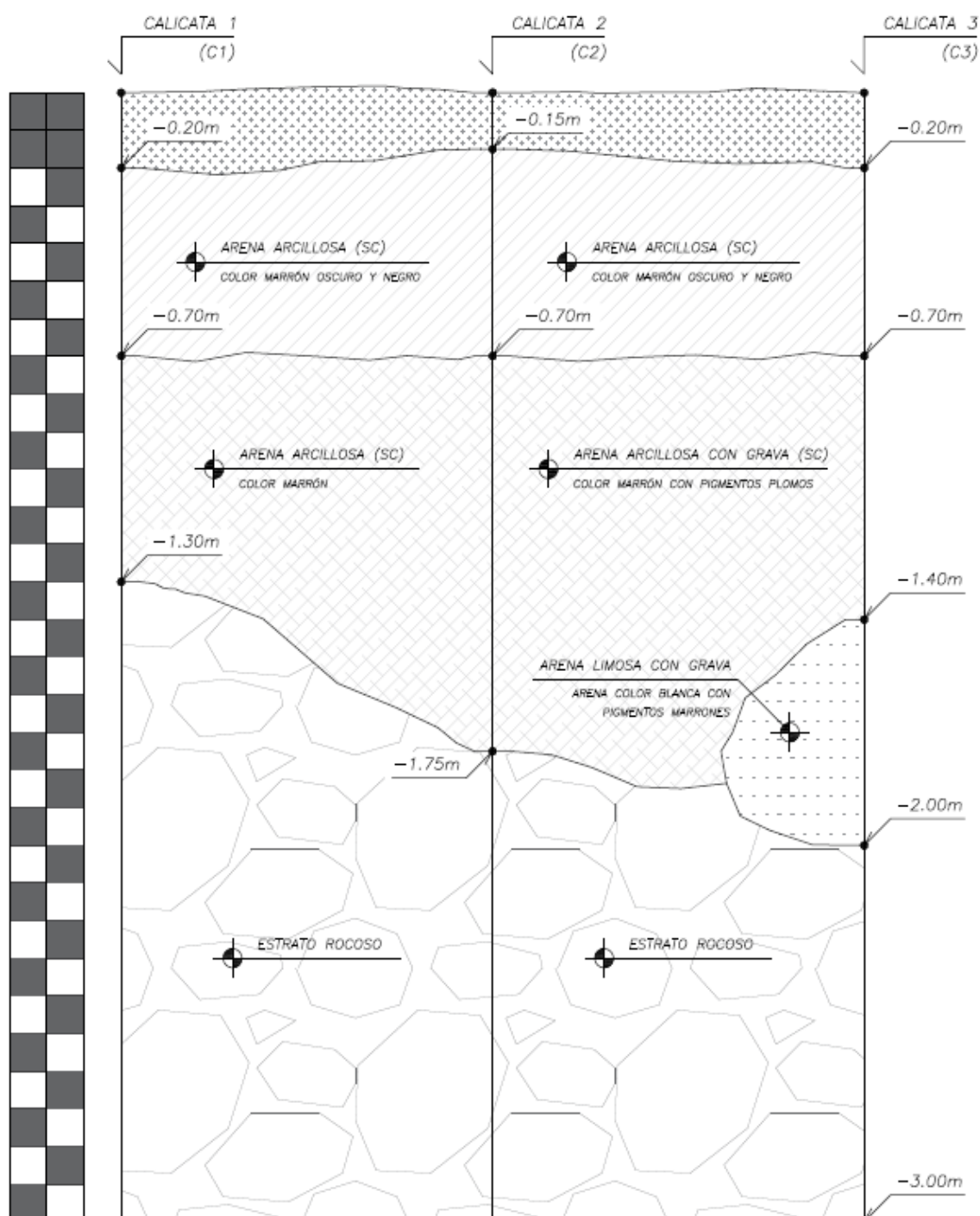
El estudio de suelos fue realizado en tres puntos dispersos dentro del área de terreno en donde la edificación es proyectada. Las muestras de suelo en cada punto se obtuvieron por calicatas rectangulares de 1.00m x 1.50m, cuya profundidad fue determinada por la distancia a la que se encontró el estrato rocoso. Esta profundidad variará para cada punto de ensayo.

Para el análisis se recolectaron en total 7 muestras inalteradas de las cuales 2 son de la Calicata N°1 (C1), 2 de la calicata N°2 (C2) y 3 de la calicata N° 3 (C3). Todas estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelo de la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo siguiendo los requerimientos de las normas vigentes. Los datos obtenidos entre propiedades mecánicas e identificación de los tipos de estrato son colectados en formatos anexados a la presente investigación.

De la información obtenida en los ensayos, se pudo conocer que la profundidad ideal de cimentación para el sistema convencional es $H=1.60\text{m}$; mientras que para el sistema aislado la profundidad de excavación se extiende a $H=3.00\text{m}$ debido a los requerimientos de diseño. Estas profundidades se sustentan en los estratos de buena resistencia sobre el estrato de rocoso en el límite del estudio, aportando una capacidad portante de 1.13kg/cm^2 en el caso más desfavorable.

Los distintos estratos de suelos en el terreno de estudio y sus respectivos espesores por capa son resumidos en la imagen a continuación, usando las características obtenidas en los estudios de las muestras recolectadas.

Imagen N° 19 – Estratificación de suelo en el terreno de estudio



Fuente: Propia

4.1.2. Diseño Estructural

4.1.2.1. Platea de Cimentación

a. Sistema Convencional

Considerando el estudio de suelos explicado anteriormente, se optó por una platea de cimentación de peralte $h=0.80\text{m}$ y resistencia $f'_c=350\text{ kg/cm}^2$ para soportar el daño por sales en el subsuelo; así como el peso de los cuatro entresijos de la edificación. Además, esta platea descansará sobre un solado de concreto simple de espesor $e=0.10\text{m}$ que la separará la superficie inferior del contacto con el terreno.

El refuerzo de acero se distribuye como dos mallas de varillas de acero $\varnothing 3/4"$ dispuestas perpendicularmente en el sentido "x" y sentido "y" con espaciado constante; tanto para la parte inferior como la superior del peralte. Esta última, es dispuesta a manera de bastones por sección de platea.

Tabla N° 17 – Acero de platea de cimentación para Sistema Convencional

Convencional - Platea de Cimentación			
	h	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior
Sentido X	0.80 m	$\varnothing 3/4" @ 0.10\text{ m}$	$\varnothing 3/4" @ 0.10\text{ m}$
Sentido Y	0.80 m	$\varnothing 3/4" @ 0.10\text{ m}$	$\varnothing 3/4" @ 0.10\text{ m}$

Fuente: Propia

b. Sistema Aislado

En el sistema aislado, las consideraciones para el diseño de cimentación varían sustancialmente; requiriendo una mayor profundidad para la colocación de los aisladores, el peralte de la cimentación y la altura necesaria para permitir que una persona pueda moverse libremente y hacer mantenimiento.

La cimentación utilizada es una platea de cimentación de peralte $h=0.80\text{m}$ y resistencia $f'c=350\text{ kg/cm}^2$; además de descansar sobre un solado de concreto simple de espesor $e=0.10\text{m}$, similar a la edificación tradicional. No obstante, el refuerzo de acero implementado debe ser capaz de resistir las cargas transmitidas por los elementos adicionales como en el caso de los pedestales inferiores, aisladores, pedestales superiores y el peso propio de la edificación.

El acero de refuerzo se distribuyó horizontalmente con espaciamiento constante en los sentidos “x” y “y” formando dos mallas, una en la parte inferior y la otra en la superior del peralte de la platea de cimentación. Esta última, es dispuesta a manera de bastones por sección de platea.

Tabla N° 18 – Diseño de platea de cimentación para Sistema Aislado

Aislado - Platea de Cimentación			
	h	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior
Sentido X	0.80 m	$\varnothing 3/4" @ 0.10\text{ m}$	$\varnothing 1" @ 0.25\text{ m}$
Sentido Y	0.80 m	$\varnothing 1" @ 0.20\text{ m}$	$\varnothing 1" @ 0.20\text{ m}$

Fuente: Propia

4.1.2.2. Vigas de Cimentación

Las vigas de cimentación se distribuyen en el interior de la platea conectando los elementos verticales; ya sean columnas en el sistema convencional o los pedestales inferiores para el sistema aislado. En ambos casos, las dimensiones geométricas de peralte $h=0.80\text{m}$ y ancho $b=0.25\text{m}$ se mantienen; al igual que la distribución de acero inferior y superior. No obstante, debido a la magnitud del peralte de la viga se colocó una varilla de $\varnothing 3/8''$ a cada lado del centro de la sección. Las varillas utilizadas en los dos diseños estructurales se presentan en las tablas siguientes.

Tabla N° 19 – Distribución de acero en vigas de cimentación para Sistema Convencional

Convencional - Vigas de Cimentación				
Descripción	b m	h m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
VC - 01	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 02	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 03	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 04	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 05	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 06	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 07	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - A	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - B	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - C	0.25	0.80	$4\varnothing 5/8'' + 2\varnothing 1/2''$ $2\varnothing 3/8''$	$\varnothing 3/8''$: 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

En el sistema aislado, la distribución de acero de las vigas de aislamiento es el siguiente.

Tabla N° 20 – Distribución de acero en vigas de cimentación para Sistema Aislado

Aislado - Vigas de Cimentación				
Descripción	b m	h m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
VC - 01	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 02	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 03	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 04	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 05	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 06	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - 07	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - A	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - B	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m
VC - C	0.25	0.80	6Ø5/8" 2Ø3/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.15m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

4.1.2.3. Escaleras

El diseño de escalera utilizado considera un total de siete tipos de tramos y tres de descansos, distribuidos en los cinco niveles de la edificación. Cada descanso está empotrado sobre una viga de apoyo ubicado a media altura del entrepiso. El espesor de losa de tramo $t=0.15\text{m}$ con gradas de 0.25m de paso (P) y 0.175m de contrapaso (CP). Además, debido que ambos sistemas estructurales están expuestos a las mismas cargas de servicio; la distribución de acero longitudinal y horizontal utilizado será el mismo.

El acero longitudinal del tramo se extiende hasta el descanso trabajando como acero transversal y respetando la continuidad de la distribución de varillas del tramo.

Tabla N° 21 – Distribución de acero del tramo de escalera para Sistema Convencional

Convencional - Acero en Escalera		
Descripción	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
T01	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T02	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T03	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T04	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø5/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T05	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T06	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø5/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T07	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m

Fuente: Propia

El descanso se apoya sobre los muros de tabiquería laterales, con una extensión de losa de 0.15m; sobre la cual, de acuerdo al tipo, se distribuyen entre dos a cuatro gradas de 0.175 de contrapaso.

Tabla N° 22 – Distribución de acero en el descanso para Sistema Convencional

Convencional - Acero en Escalera		
Descripción	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
D01	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
D02	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
D03	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m

Fuente: Propia

Como se mencionó anteriormente, el diseño de escalera para el sistema aislado es el mismo utilizado para el sistema convencional de la edificación.

Tabla N° 23 – Distribución de acero de tramo de escalera para Sistema Aislado

Aislado - Acero en Escalera		
Descripción	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
T01	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T02	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T03	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T04	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø5/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T05	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T06	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø5/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
T07	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø3/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m

Fuente: Propia

Tabla N° 24 – Distribución de acero en el descanso para Sistema Convencional

Aislado - Acero en Escalera		
Descripción	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
D01	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
D02	Inf: Ø5/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m
D03	Inf: Ø3/8" @ 0.25m	Inf: Ø5/8" @ 0.25m
	Sup: Ø3/8" @ 0.25m	Sup: Ø3/8" @ 0.25m

Fuente: Propia

4.1.2.4. Columnas

Debido a la diferencia de altura de entresijos y distribución de ductos en planta, se optó aplicar reducción de sección en las columnas para conseguir la regularidad en planta en el análisis de desplazamientos. En total se consideraron cuatro tipos de columnas, cuya sección varía de acuerdo al nivel en el que se midan. La reducción de sección se realiza en el primer, segundo y tercer nivel; no obstante, este último es repetido en el cuarto y quinto nivel.

Así como la sección geométrica de las columnas disminuye a lo largo de la altura, la distribución de acero se adapta a esas condiciones. Tanto para el diseño estructural del sistema convencional como el de sistema aislado, las dimensiones de la columna y el refuerzo de acero que le corresponde son ordenados en tablas por nivel de entresijo.

Las **Tabla N° 25, Tabla N° 26, Tabla N° 27 y Tabla N° 28** corresponden al diseño de acero y distribución de columnas por sistema convencional desde el primer a quinto nivel respectivamente.

Tabla N° 25 – Columnas del primer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Secciones de Columnas del 1er Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1B	C1	1.00	0.60	14 ϕ 3/4" + 10 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 14@0.07m Rsto. @0.15m
2B	C2	0.50	0.70	4 ϕ 3/4" + 12 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
2C	C2	0.50	0.70	4 ϕ 3/4" + 12 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
3A	C1	1.00	0.60	14 ϕ 3/4" + 10 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 14@0.07m Rsto. @0.15m
3B	C1	1.00	0.60	14 ϕ 3/4" + 10 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 14@0.07m Rsto. @0.15m
3C	C2	0.50	0.70	4 ϕ 3/4" + 12 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
4A	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
4B	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
4C	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
5A	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
5B	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
5C	C3	0.35	0.50	8 ϕ 5/8" + 2 ϕ 1/2"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.12m
6B	C4	0.70	0.40	4 ϕ 4/3" + 8 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
6C	C2	0.50	0.70	4 ϕ 3/4" + 12 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
7B	C1	1.00	0.60	14 ϕ 3/4" + 10 ϕ 5/8"	ϕ 3/8": 1@0.05m, 14@0.07m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 26 – Columnas del segundo nivel para Sistema Convencional

Convencional - Secciones de Columnas del 2do Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1B	C1	0.80	0.50	8Ø3/4" + 10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.15m
2B	C2	0.40	0.60	8Ø5/8" + 4Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.07m Rsto. @0.12m
2C	C2	0.40	0.60	8Ø5/8" + 4Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.07m Rsto. @0.12m
3A	C1	0.80	0.50	8Ø3/4" + 10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.15m
3B	C1	0.80	0.50	8Ø3/4" + 10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.15m
3C	C2	0.40	0.60	8Ø5/8" + 4Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.07m Rsto. @0.12m
4A	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4B	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4C	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5A	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5B	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5C	C3	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
6B	C4	0.70	0.40	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
6C	C2	0.40	0.60	8Ø5/8" + 4Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.07m Rsto. @0.12m
7B	C1	0.80	0.50	8Ø3/4" + 10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 27 – Columnas del tercer y cuarto nivel para Sistema Convencional

Convencional - Secciones de Columnas del 3er y 4to Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1B	C1	0.70	0.40	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
2B	C2	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
2C	C2	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
3A	C1	0.70	0.40	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
3B	C1	0.35	0.40	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
3C	C2	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4A	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
4B	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
4C	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5A	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5B	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5C	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
6B	C4	0.70	0.40	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m
6C	C2	0.35	0.50	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
7B	C1	0.80	0.50	4Ø3/4" + 8Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.07m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 28 – Columnas del quinto nivel para Sistema Convencional

Convencional - Secciones de Columnas del 5to Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
4A	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
4B	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
4C	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5A	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5B	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m
5C	C3	0.35	0.40	8Ø5/8" + 2Ø1/2"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.08m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

En cambio, las **Tabla N° 29**, **Tabla N° 30**, **Tabla N° 31** y **Tabla N° 32** son del diseño de acero y distribución del sistema aislado para los cinco niveles en el orden número.

Tabla N° 29 – Columnas del primer nivel para Sistema Aislado

Aislado - Secciones de Columnas del 1er Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
1B	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
1C	C2	0.55	0.80	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.07m Rsto. @0.15m
2A	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
2B	C2	0.55	0.80	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.07m Rsto. @0.15m
2C	C2	0.55	0.80	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.07m Rsto. @0.15m
3A	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
3B	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
3C	C2	0.55	0.80	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.07m Rsto. @0.15m
4A	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
4B	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
4C	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
5A	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
5B	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
5C	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
6A	C3	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.06m Rsto. @0.12m
6B	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
6C	C3	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m
7A	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
7B	C1	0.70	0.55	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.09m Rsto. @0.15m
7C	C2	0.55	0.80	4Ø3/4" + 16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 11@0.07m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 30 – Columnas del segundo nivel para Sistema Aislado

Aislado - Secciones de Columnas del 2do Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
1B	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
1C	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m
2A	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
2B	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m
2C	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m
3A	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
3B	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
3C	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m
4A	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
4B	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
4C	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
5A	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
5B	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
5C	C4	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
6A	C3	0.35	0.50	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
6B	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
6C	C3	0.35	0.50	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
7A	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
7B	C1	0.55	0.45	4Ø3/4" + 12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.12m
7C	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 31 – Columnas de tercer y cuarto nivel para Sistema Aislado

Convencional - Secciones de Columnas del 3er y 4to Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
1B	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
1C	C2	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
2A	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
2B	C2	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
2C	C2	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
3A	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
3B	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
3C	C2	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
4A	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4B	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4C	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5A	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5B	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5C	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
6A	C3	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
6B	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
6C	C3	0.35	0.55	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 6@0.09m Rsto. @0.15m
7A	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
7B	C1	0.45	0.35	12Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 8@0.06m Rsto. @0.12m
7C	C2	0.45	0.65	16Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.09m Rsto. @0.15m

Fuente: Propia

Tabla N° 32 – Columnas de quinto nivel para Sistema Aislado

Convencional - Secciones de Columnas del 5to Nivel					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
4A	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4B	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
4C	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5A	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5B	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m
5C	C4	0.35	0.30	10Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 7@0.07m Rsto. @0.12m

Fuente: Propia

Adicionalmente, la edificación aislada presenta un mayor número de columnas que la edificación de diseño convencional debido a los distintos sistemas estructurales utilizados. Mientras la estructura convencional es de sistema dual con columnas y 6 muros de corte; el sistema aislado es aporticado, reemplazando los muros de corte por columnas, con un total de 21 columnas.

4.1.2.5. Muros de Corte o Placa

La edificación convencional es de sistema dual, donde los esfuerzos por sismo y de servicio no son soportados solo por columnas; si no que cuenta con la presencia de 6 muros de corte, losas verticales limitados en los extremos con columnas de confinamiento. Estos son distribuidos uniformemente en planta, uno en cada esquina y dos en el interior de la estructura.

Así mismo, debido a la diferencias de altura de entrepiso, el espesor de los muros de corte también se ve reducido como en el caso de las columnas. Siendo el primer nivel de espesor $e=0.30\text{m}$, el segundo nivel de $e=0.25\text{m}$, el tercero y cuarto de espesor $e=0.20\text{m}$; ya que los muros de corte no se extienden hasta el quinto nivel.

Asimismo, serán alineados de acuerdo a su ubicación. En los muros de corte ubicados en el perímetro de la edificación, se optó alinearlos lateralmente; de manera que la reducción de espesor se presente en solo una cara, a diferencia de los dos en el interior de planta, en donde conservó la alineación al eje de la sección.

El refuerzo de acero consiste de varillas horizontales distribuidos cada 0.25m y varillas verticales a cada 0.30m , dispuestos en forma de malla en ambas caras del muro. Ambos extremos de las varillas terminan con un gancho de 0.15m .

Además, los muros de corte presentan en sus extremos columnas de confinamiento; ya sea una columna estructural o una columna de sección 0.40 x 0.35m. El acero de las columnas que funcionen como confinamiento se adaptará a la ubicación de las varillas horizontales del muro de corte, para reforzar el anclaje del mallado.

Tabla N° 33 – Muros de corte del primer nivel para Sistema Convencional

Acero en Muros de Corte — 1er Nivel						
ID	Sección	Columna m2	Lm m	e m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	PLACA 1	0.35 x 0.40	1.40	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
1C	PLACA 2	0.35 x 0.40	1.20	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
2A	PLACA 3	0.35 x 0.40	1.20	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
6A	PLACA 4	0.35 x 0.40	1.30	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7A	PLACA 5	0.35 x 0.40	1.35	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7B	PLACA 6	0.35 x 0.40	1.40	0.30	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m

Fuente: Propia

Tabla N° 34 – Muros de corte del segundo nivel para Sistema Convencional

Acero en Muros de Corte — 2do Nivel						
ID	Sección	Columna m2	Lm m	e m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	PLACA 1	0.35 x 0.40	1.40	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
1C	PLACA 2	0.35 x 0.40	1.20	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
2A	PLACA 3	0.35 x 0.40	1.20	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
6A	PLACA 4	0.35 x 0.40	1.30	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7A	PLACA 5	0.35 x 0.40	1.35	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7B	PLACA 6	0.35 x 0.40	1.40	0.25	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m

Fuente: Propia

Tabla N° 35 – Muros de corte del tercer y cuarto nivel para Sistema Convencional

Acero en Muros de Corte — 3er y 4to Nivel						
ID	Sección	Columna m2	Lm m	e m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	PLACA 1	0.35 x 0.40	1.40	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
1C	PLACA 2	0.35 x 0.40	1.20	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
2A	PLACA 3	0.35 x 0.40	1.20	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
6A	PLACA 4	0.35 x 0.40	1.30	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7A	PLACA 5	0.35 x 0.40	1.35	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m
7B	PLACA 6	0.35 x 0.40	1.40	0.20	Ø1/2" @ 0.30 m	Ø1/2" @ 0.25 m

Fuente: Propia

4.1.2.6. Vigas de Entrepiso y Viguetas

Las vigas de entrepiso se distribuyen siguiendo la orientación de los ejes en planta conectando las columnas de cada pórtico y confinando las losas de entrepiso por paños. Las dimensiones de sus secciones dependerán de la dirección de la viga, ya sea de 0.25m x 0.40m para las vigas transversales (Sentido X) o de 0.25m x 0.50 para las longitudinales (Sentido Y). Pero todas serán de resistencia de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

El refuerzo de acero consistió en varillas longitudinales inferiores y superiores a lo largo del tramo de viga, incluyendo bastones que apoyen la resistencia a esfuerzos. Todos los elementos longitudinales contarán con dobleces, llamados ganchos, de acuerdo al diámetro de los mismos. Además, para la resistencia a fuerzas cortantes se distribuyó estribos en cada tramo de viga.

Correspondiente a la edificación convencional, la distribución de acero utilizado en las vigas para cada nivel es indicado en **Tabla N° 36**, **Tabla N° 37**, **Tabla N° 38**, **Tabla N° 39** y **Tabla N° 40**.

Tabla N° 36 – Vigas del primer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Diseño de Vigas del 1er Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 101	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 102	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 103	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 104	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 105	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 106	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 107	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 10A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 10B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 10C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	

Fuente: Propia

Tabla N° 37 – Vigas del segundo nivel para Sistema Convencional

Convencional - Diseño de Vigas del 2do Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 201	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 202	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 203	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 204	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 205	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 206	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 207	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 20A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 20B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 20C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	D - D	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	

Fuente: Propia

Tabla N° 38 – Vigas del tercer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Diseño de Vigas del 3er Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 301	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 302	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 303	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 304	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 305	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 306	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 307	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 30A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 30B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8"	
V - 30C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.30	2Ø5/8" + 2Ø1/2"	2Ø5/8"	

Fuente: Propia

Tabla N° 39 – Vigas del cuarto nivel para Sistema Convencional

Convencional - Diseño de Vigas del 4to Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 401	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 402	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 403	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 404	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 405	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 406	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 407	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 40A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
V - 40B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
V - 40C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m

Fuente: Propia

En la edificación, la distribución de arquitectura tiene la peculiaridad que el área techada del quinto nivel es menor al de los niveles inferiores, siendo esto uno de los responsables de la irregularidad controlada inicialmente. El área techada corresponde a los pórticos del ducto de escalera entre los ejes 4 – 4 y eje 5 – 5 en el sentido transversal; los únicos con un quinto nivel.

Las dimensiones de las vigas transversales y longitudinales en dicho sector se expresan a continuación.

Tabla N° 40 – Vigas del quinto nivel para Sistema Convencional

Convencional - Diseño de Vigas del 5to Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 504	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 505	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 50A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
V - 50B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m
V - 50C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.11m Rsto. @0.16m

Fuente: Propia

Por otro lado, en el sistema aislado hay una notable reducción del área de acero en vigas a comparación del sistema convencional como consecuencia de la reducción de fuerzas absorbidas por la estructura. De la misma forma, la redistribución de las fuerzas cortantes características de una estructura aislada se tradujo en la variación del espaciamiento de estribos.

El refuerzo de acero utilizado en las vigas del diseño aislado se presentan en **Tabla N° 41**, **Tabla N° 42**, **Tabla N° 43**, **Tabla N° 44** y **Tabla N° 45**.

Tabla N° 41 – Vigas del primer nivel para Sistema Aislado

Aislado - Diseño de Vigas del 1er Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 101	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 102	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 103	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 104	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 105	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 106	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 107	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 10A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 10B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 10C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m

Fuente: Propia

Tabla N° 42 – Vigas del segundo nivel para Sistema Aislado

Aislado - Diseño de Vigas del 2do Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 201	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8" + 1Ø1/2"	2Ø5/8"	
	C - C	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 202	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 203	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 204	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 205	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 206	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 207	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 20A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 20B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 20C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m

Fuente: Propia

Tabla N° 43 – Vigas del tercer nivel para Sistema Aislado

Aislado - Diseño de Vigas del 3er Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 301	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 302	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 303	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 304	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 305	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 306	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 307	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 30A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			
V - 30B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			
V - 30C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			

Fuente: Propia

Tabla N° 44 – Vigas del cuarto nivel para Sistema Aislado

Aislado - Diseño de Vigas del 4to Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 401	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 402	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 403	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 404	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 405	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 406	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 407	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 40A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			
V - 40B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			
V - 40C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
	B - B	0.25	0.30			

Fuente: Propia

Como fue explicado anteriormente, el quinto nivel presenta menor área techada a comparación de los niveles inferiores. El refuerzo de acero de sus respectivas vigas compartirán las mismas características del cuarto y tercer nivel.

Tabla N° 45 – Vigas del quinto nivel para Sistema Aislado

Aislado - Diseño de Vigas del 5to Nivel						
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal
				Superior	Inferior	
V - 504	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 505	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 10@0.08m Rsto. @0.16m
	B - B	0.25	0.40	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
V - 50A	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 50B	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m
V - 50C	A - A	0.25	0.30	2Ø5/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, 4@0.15m Rsto. @0.11m

Fuente: Propia

4.1.2.7. Losa Aligerada y Maciza

El entrepiso es de forma rectangular con volados en las dos dimensiones horizontales. En su diseño se utilizaron dos tipos de losas: losa aligerada y losa maciza, ambos con un espesor $e=0.20m$. Sus características y distribución son indicadas en los planos de estructuras.

La losa aligerada se extiende en la mayor parte del entrepiso dividida en paños con la presencia de ductos de gran magnitud. Su diseño contempla vigueta en una sola dirección dispuestas longitudinalmente (Sentido Y – Y) paralelas a la dimensión más grande en planta de la edificación. Además, cada paño de losa es delimitado por vigas longitudinales y transversales, a excepción del volado de ancho $B=1.00m$ confinado por vigas de apoyo V-A de sección $0.10m \times 0.20m$

Para la edificación convencional, el acero en losa aligeradas del primer a cuarto nivel se indican en **Tabla N° 46**, **Tabla N° 47**, **Tabla N° 48** y **Tabla N° 49**.

Tabla N° 46 – Acero en losa aligerada del primer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Losa Aligerada 1er Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 47 – Acero en losa aligerada del segundo nivel para Sistema Convencional

Convencional - Losa Aligerada 2do Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 48 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Losa Aligerada 3er Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 49 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Convencional

Convencional - Losa Aligerada 4to Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

En la estructura aislada, la distribución de varillas de refuerzo y temperatura de losa aligerada es idéntico al caso de edificación convencional. La distribución de acero en losa está resumido en las **Tabla N° 50**, **Tabla N° 51**, **Tabla N° 52** y **Tabla N° 53**.

Tabla N° 50 – Acero en Losa Aligerada del Primer Nivel para Edificación Aislada

Aislado - Losa Aligerada 1er Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 51 – Acero en losa aligerada del segundo nivel para Sistema Aislado

Aislado - Losa Aligerada 2do Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 52 – Acero en losa aligerada del tercer nivel para Sistema Aislado

Aislado - Losa Aligerada 3er Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 2Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Tabla N° 53 – Acero en losa aligerada del cuarto nivel para Sistema Aislado

Aislado - Losa Aligerada 4to Nivel				
	h m	Refuerzo Inferior	Refuerzo Superior	Acero de Temperatura
Franja A	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja B	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja C	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja D	0.20	Ø1/2"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m
Franja E	0.20	Ø3/8"	1Ø1/2" + 1Ø1/2"	Ø3/8 @ 0.40 m

Fuente: Propia

Por otro lado, el diseño de losa maciza cuenta con acero de refuerzo en dos direcciones, utilizado en el volado longitudinal de ancho $B=1.00\text{m}$ y espesor $e=0.20\text{m}$ del primer a cuarto nivel; así como en el entrepiso del quinto nivel, en donde se requiere mayor resistencia a las cargas axiales del tanque de agua y elementos de otros servicios.

La distribución de varillas de refuerzo utilizado en losas macizas para cada nivel, ya sea como voladizo o entrepiso, es descrito en **Tabla N° 54** y **Tabla N° 55** para edificación convencional y aislada respectivamente.

Tabla N° 54 – Acero en losa maciza del quinto nivel para Sistema Convencional

Convencional - Acero en Losa Maciza				
Entrepiso	h m	Refuerzo Longitudinal (Superior e Inferior)	Refuerzo Transversal (Superior e Inferior)	Acero de Temperatura
1er Nivel	0.20	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
2do Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
3er Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
4to Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
5to Nivel	0.20	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$

Fuente: Propia

Tabla N° 55 – Acero en losa maciza del quinto nivel para Sistema Aislado

Aislado - Acero en Losa Maciza				
Entrepiso	h m	Refuerzo Longitudinal (Superior e Inferior)	Refuerzo Transversal (Superior e Inferior)	Acero de Temperatura
1er Nivel	0.20	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 1/2 @ 0.10 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
2do Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.10 \text{ m}$	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
3er Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.10 \text{ m}$	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
4to Nivel	0.20	$\varnothing 1/2 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 1/2 @ 0.20 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$
5to Nivel	0.20	$\varnothing 3/8 @ 0.15 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.10 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$

Fuente: Propia

4.1.2.8. Interfaz de Aislamiento

La interfaz de aislamiento es un conjunto de elementos estructurales exclusivos del diseño por sistema de aislamiento, permite separar la edificación en dos componentes: subestructura y superestructura. Está conformado por vigas de aislamiento, losa maciza de aislamiento, pedestales superiores e inferiores.

La distribución de estos elementos cumple con la función de aislar superestructura, similar a un entrepiso adicional a nivel de la base. Donde los pedestales superiores se alinean debajo de las columnas de la estructuras, se conectan mediante las vigas de aislamiento confinando en paños la losa maciza de aislamiento.

a. Vigas de Aislamiento

Las vigas del interfaz de aislamiento son diseñados como vigas de gran peralte, con una altura $h=0.80\text{m}$ y ancho de sección $b=0.30\text{m}$. Cuentan con longitudes de tramo reducidos debido a las dimensiones de los pedestales superiores. El refuerzo de acero consiste en varillas longitudinales dispuestas en la parte inferior y superior de la sección de vigas, incluyendo bastones que refuercen la resistencia y estribos para las fuerzas cortantes. No obstante, a diferencia de las vigas tradicionales, en conjunto con el acero por flexión se incluyen 3 varillas de $\varnothing 3/8''$ espaciados a 0.10m desde el centro a los extremos.

Tabla N° 56 – Acero en vigas peraltadas de interfaz de aislamiento

Diseño de Vigas de la Interfaz de Aislamiento							
Descripción	Corte	b m	h m	Refuerzo Longitudinal			Refuerzo Transversal
				Superior	Central	Inferior	
VA - 01	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 02	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 03	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 04	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 05	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 06	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - 07	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - A	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - B	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	
VA - C	A - A	0.30	0.80	2Ø5/8"	6Ø3/8"	2Ø5/8"	Ø3/8": 1@0.05m, Rsto. @0.15m
	B - B			2Ø5/8"	-	2Ø5/8"	

Fuente: Propia

b. Losa de Aislamiento

La losa de aislamiento es una losa maciza de espesor $e=0.20\text{m}$ diseñado para reforzamiento en dos direcciones, sentido longitudinal y transversal. Se extiende en toda el área de planta de la superestructura, incluyendo los volados de ancho $B=1.00\text{m}$ dispuestos de forma similar a los entrepisos superiores.

En planta, la losa es dividida en 12 paños interiores delimitados por las vigas de aislamiento cuya extensión afecta de la misma forma a los volados, dividiéndolos en paños exteriores delimitados por viguetas V-X de sección $0.15\text{m} \times 0.30\text{m}$.

Tabla N° 57 – Acero de refuerzo de losa de aislamiento

Acero de Refuerzo en Losa de Aislamiento				
Entrepiso	h m	Refuerzo Longitudinal (Superior e Inferior)	Refuerzo Transversal (Superior e Inferior)	Acero de Temperatura
Aislamiento	0.20	$\varnothing 1/2" @ 0.30 \text{ m}$	$\varnothing 1/2" @ 0.30 \text{ m}$	$\varnothing 3/8 @ 0.40 \text{ m}$

Fuente: Propia

c. Pedestales Inferiores y Superiores

El sistema de pedestales superiores consiste en bloques de concreto de sección $1.00\text{m} \times 1.00\text{m}$, con una distribución de acero de 46 varillas de 1" sujetas con ganchos y estribos de $3/8"$. Así mismo, por su corta longitud para los estribos se consideró los requerimientos de espaciamiento en zona confinada de columnas.

Tabla N° 58 – Detalle de refuerzo para pedestales superiores

Acero de Refuerzo en Pedestales Superiores					
ID	Sección	Dx m	Dy m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
Típico	A1	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

Por otro lado, los pedestales inferiores son aquellos que se encuentran en la subestructura, conectados por los demás elementos estructurales de cimentación. Sus dimensiones dependen del tipo de unidad de aislamiento utilizado para cada análisis (HDRB, LRB y FPS); así como del tipo de deslizador implementado. Para aisladores HDRB y LRB, los pedestales son de sección 1.40m x 1.40m; mientras que para aisladores FPS es de 1.80m x 1.80m. Así mismo, la altura de pedestal y demás medidas son indicadas en las tablas resúmenes.

El refuerzo de acero consiste en varillas longitudinales de diámetro variado de acuerdo al tipo de sección del pedestal capaces de soportar las cargas puntuales del peso de los aisladores y la superestructura. Asimismo, debido a la corta longitud del elemento, la distribución de estribos seguirán los requerimientos para zona confinada en columnas.

Tabla N° 59 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado HDRB

Sección de Pedestales Inferiores — HDRB						
ID	Sección	Dx m	Dy m	H m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

Tabla N° 60 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado LRB

Sección de Pedestales Inferiores — LRB						
ID	Sección	Dx m	Dy m	H m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6B	A2	1.40	1.40	1.25	40Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

Tabla N° 61 – Acero de refuerzo en pedestales inferiores del Sistema Aislado FPS

Sección de Pedestales Inferiores — FPS						
ID	Sección	Dx m	Dy m	H m	Refuerzo Longitudinal	Refuerzo Transversal
1A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
1C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2B	A2	1.80	1.80	1.25	61Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
2C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3B	A2	1.80	1.80	1.25	61Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
3C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4B	A2	1.80	1.80	1.25	61Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
4C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5B	A2	1.80	1.80	1.25	61Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
5C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6B	A2	1.80	1.80	1.25	61Ø1"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
6C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7A	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7B	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m
7C	A1	1.00	1.00	1.00	36Ø3/4"	Ø3/8": 1@0.05m, 5@0.09m Rsto. @0.35m

Fuente: Propia

4.1.3. Sistema de Aislamiento

Para el diseño del sistema de aislación se identificó la cantidad de unidades de aislación requeridas de acuerdo a la disposición de las columnas en la superestructura, con la finalidad de mantener la uniformidad en la distribución de cargas verticales hasta los pedestales inferiores de la subestructura.

En total fueron seleccionadas 21 aisladores, distribuidas en planta de manera que 16 unidades se ubiquen bajo las columnas perimetrales y 5 unidades bajo las columnas interiores. Las 16 unidades perimetrales corresponden a los aisladores utilizados de acuerdo analizado, mientras que las 5 unidades interiores son separadas ubicar aisladores de tipo deslizador.

Las unidades de aislación, sus dimensiones y propiedades histeréticas fueron facilitadas por el catálogo de productos de Bridgestone para los aisladores HDRB, LRB y deslizadores. Así mismo, características de los aisladores de FPS fueron obtenidas de la empresa FIP.

4.1.3.1. Sistema HDRB

Para el sistema con aisladores de alto amortiguamiento (HDRB) se seleccionaron los tipos HH070X4S y HN060X3R, con un diámetro de 700 mm y 600 mm como indican su nombre técnico. Acompañados de deslizadores SL030GC de 300 de diámetro que apoyen su desplazamiento. Esta información ha sido obtenida de las especificaciones técnicas del catálogo de Bridgestone, la cual es expresada en unidades de milímetros (mm) y kilonewtons (kN).

Sus características, dimensiones y especificaciones están indicadas en la tabla a continuación.

Tabla N° 62 – Características geométricas de aisladores del Sistema HDRB

Características Geométricas					
		HH070X4S	HN060X3R	SL030GC	
Diámetro Interior	Di	15	15	-	mm
Diámetro Exterior	Do	700	600	300	mm
Diámetro Exterior de Brida	Df	900	900	300	mm
Área Efectiva	A	384700	282600	70700	mm ²
Espesor de una Capa de Goma	tr	5	5	3.5	mm
Número de Capas de Gomas	n	43	40	12	-
Espesor Total de la Goma	H	202	200	42	mm
Centroide del Espesor de Goma	-	0.1	0.1	21	m
Espesor de plato de Acero	ts	3.10	3.10	2.20	mm
Altura de Núcleo de Goma Laminado	-	-	-	42	mm
Altura Total del Aislador	Ht	388	358.9	98	mm
Peso de Goma de Núcleo Laminado	-	-	-	0.5	kN
Peso del Aislador	Pt	8	5	9.1	kN
Diámetro Exterior del Plato SUS	L2	-	-	1400	mm
Espesor del Plato SUS	ts	-	-	28	mm
Peso del Plato SUS	Df	-	-	4.3	kN
Primer Factor de Forma	S1	36	29.3	21.4	-
Segundo Factor de Forma	S2	3	3	7.4	-

Fuente: Propia

La distribución en planta de los aisladores se realizó identificando los requerimientos de rigidez y la variación entre los desplazamiento de sus extremos, evitando movimientos torsionales en la estructura. De acuerdo a esas condiciones, los aisladores HH070X4S y HN060X3R fueron colocados en el perímetro rodeado a los deslizadores SL030GC.

Tabla N° 63 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema HDRB

Ubicación en Planta			
	A	B	C
7	HN060X3R	HN060X3R	HN060X3R
6	HN060X3R	SL030GC	HN060X3R
5	HN060X3R	SL030GC	HN060X3R
4	HN060X3R	SL030GC	HN060X3R
3	HH070X4S	SL030GC	HH070X4S
2	HH070X4S	SL030GC	HH070X4S
1	HN060X3R	HN060X3R	HN060X3R

Fuente: Propia

Junto a los deslizadores SL030GC $d=300$ mm se usó platos deslizantes SUS con un longitud de 1300 mm y 28 mm de espesor, sobre el cuál se desplazará. La diferencia entre ambos corresponde al desplazamiento último admisible del dispositivo, el cuál para el sistema HDRB corresponde a 550 mm.

Los aisladores y deslizadores están contenidos sobre bridas de dimensiones mayores. En el caso de los aisladores HH070X4S y HN0603R las bridas de acero son de 900 mm de diámetro. Mientras que el limitante inferior de los deslizadores son los platos cuadrados SUS de 1300 mm de lado.

De acuerdo a las dimensiones de las bridas y el plato deslizante SUS se establece las medidas de la sección de los pedestales inferiores. Los cuales para los aisladores HDRB son de 1.00 x 1.00 m² y para los deslizadores, ubicados en el centro, son de 1.40 x 1.40m² de sección. La selección final de sus dimensiones se debe contemplar el espacio disponible en planta.

Tabla N° 64 – Dimensión de pedestales inferiores del Sistema HDRB

Dimensión de Pedestales (m)			
	A	B	C
7	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.40	1.00
5	1.00	1.40	1.00
4	1.00	1.40	1.00
3	1.00	1.40	1.00
2	1.00	1.40	1.00
1	1.00	1.00	1.00

Fuente: Propia

En el diseño, las propiedades histeréticas finales de los aisladores se determinan para el límite inferior y el límite superior del análisis. Obteniendo distintos valores de la rigidez para los estados elástico y plástico de los materiales; así como la energía disipada por el movimiento.

Tabla N° 65 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador HDRB

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior					
		HH070X4S	HN060X3R	SL030GC	
Número de Und.	#	12	4	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	510	510	510	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	682	682	682	mm
Rígidez Inicial	K_1	1623	1206	1192	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	162	121	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	54	23	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	37	21	33	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	60	25	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	137	84	40	kN

Fuente: Bridgestone (2017)

Tabla N° 66 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador HDRB

Propiedades Histeréticas para Límite Superior					
		HH070X4S	HN060X3R	SL030GC	
Número de Und.	#	12	4	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	183	183	183	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	244	244	244	mm
Rígidez Inicial	K_1	12750	9474	3575	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	1275	947	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	161	120	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	14	14	11	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	179	133	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	394	293	40	kN

Fuente: Bridgestone (2017)

Asimismo, el aporte de las propiedades histeréticas calculadas por cada tipo de aislador (HH070X4S, HN060X3R y el deslizador SL030GC) se suman de acuerdo al número de unidades similares para obtener el comportamiento histerético del sistema total como una unidad, evaluado para las condiciones de límite inferior y superior. Por consiguiente, determinar la porción de la masa de la edificación que soporta cada aislador, el cual es 55.84 kN*s2/m por unidad.

Tabla N° 67 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador HDRB

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior					
		HH070X4S	HN060X3R	SL030GC	
Número de Und.	#	12	4	5	Aisladores
Total de Und.	#		21		Aisladores
Peso Sísmico	$W_{SÍSMICO}$		11504		kN
Masa Sísmica	$M_{SÍSMICO}$		1173		kN*s2/m
Masa por Und.	M_{AISLA}		55.84		kN*s2/m
R. Corte Efect.	$K_{eq\ TOTAL}$	3220	662	372	kN/m
R. Corte Inicial	$K_1\ TOTAL$	19477	4823	5959	kN/m
R. Corte Post-Fluen.	$K_2\ TOTAL$	1948	482	0	kN/m
R. Comp. Vertical	$K_V\ TOTAL$	27531844	5568007	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	$Q_d\ TOTAL$	650	92	199	kN
Energía por Ciclo	$\Delta W\ TOTAL$	1162516	174278	379454	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H_{eq}	0.22	0.16	0.60	-

Fuente: Propia

Tabla N° 68 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador HDRB

Propiedades Histeréticas para Límite Superior					
		HH070X4S	HN060X3R	SL030GC	
Número de Und.	#	12	4	5	Aisladores
Total de Und.	#		21		Aisladores
Peso Sísmico	$W_{SÍSMICO}$		11504		kN
Masa Sísmica	$M_{SÍSMICO}$		1173		kN*s2/m
Masa por Und.	M_{AISLA}		55.84		kN*s2/m
R. Corte Efect.	$K_{eq\ TOTAL}$	25896	6413	1041	kN/m
R. Corte Inicial	$K_1\ TOTAL$	152998	37896	17877	kN/m
R. Corte Post-Fluencia	$K_2\ TOTAL$	15300	3790	0	kN/m
R. Comp. Vertical	$K_V\ TOTAL$	27531844	5568007	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	$Q_d\ TOTAL$	1935	479	199	kN
Energía por Ciclo	$\Delta W\ TOTAL$	1262875	314664	136396	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H_{eq}	0.23	0.23	0.60	-

Fuente: Propia

En base de los resultados obtenidos para la rigidez efectiva (K_{eq} total), resistencia característica a la cortante (Q_d total) y la energía disipada por el ciclo de movimiento histerético (ΔW total) junto a la masa conocida de la superestructura (M_{sismo}) es posible determinar el nuevo periodo efectivo de la edificación y el ratio de amortiguamiento efectivo que el sistema de aislación provee.

Tabla N° 69 – Propiedades histeréticas del Sistema HDRB

Propiedades del Sistema de Aislación				
		Límite Inferior	Límite Superior	
Rigidez al Corte Efectiva Total	K_{eq} TOTAL	4254	33351	kN/m
Rigidez al Corte Inicial Total	K_1 TOTAL	30259	208771	kN/m
Rigidez al Corte Post-Fluencia Total	K_2 TOTAL	2430	19089	kN/m
Rigidez a Compresión Vertical Total	K_V TOTAL	41627651		kN/m
Resistencia Característica Total	Q_d TOTAL	940	2613	kN
Energía por Ciclo Total	ΔW TOTAL	1716248	1713934	kN-mm
Ratio de Amortiguamiento Eq.	H_{eq}	0.2464	0.2453	%
Factor B	B	1.67	1.67	-
Peso Sísmico	W_{sismo}	11503.60		kN
Masa Sísmica	M_{sismo}	1172.64		kN*s ² /m
Ratio de Resistencia del Sistema	Q_d / W	0.08	0.23	-
Periodo Efectivo del Sistema	T	3.299	1.178	s
Fuerza de Amortiguamiento		877	2442	-
Sa	Sa	1.04	1.04	g
Desplazamiento Máximo	D_M	510	183	mm
Periodo Efectivo	T	3.299	1.178	s
Amortiguamiento Efectivo	β_{eff}	24.64	24.53	%

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 69** se puede observar el resultado de aplicar un sistema de aislación HDRB. El cuál para límite inferior permite un desplazamiento máximo de 510 mm, con un ratio de amortiguamiento efectivo de 24.64% para un nuevo periodo efectivo de 3.299 s. Entretanto para el límite superior el desplazamiento es de 183 mm, en un amortiguamiento cercano de 24.53% con un periodo efectivo de 1.178 s.

4.1.3.2. Sistema LRB

Para el sistema con aisladores de núcleo de plomo (LRB) se seleccionaron los tipos LL070G4 E y LN060G4 C, con un diámetro de 700 mm y 600 mm como indican su nombre técnico. Acompañados de deslizadores SL030GC de 300 de diámetro que apoyen su desplazamiento. Esta información ha sido obtenida de las especificaciones técnicas del catálogo de Bridgestone, la cual es expresada en unidades de milímetros (mm) y kilonewtons (kN).

Sus características, dimensiones y especificaciones están indicadas en la tabla a continuación.

Tabla N° 70 – Características geométricas de aisladores del Sistema LRB

Características Geométricas					
		LL070G4 E	LH060G4 C	SL030GC	
Diámetro Exterior	Di	700	600	300	mm
Diámetro del Núcleo de Plomo	Do	100	100	-	mm
Diámetro Exterior de Brida	Df	900	900	300	mm
Área Efectiva	Ar	377000	274900	70700	mm ²
Área del Núcleo de Plomo	Ap	7854	7854	-	mm ²
Espesor de una Capa de Goma	tr	5	3.95	3.50	mm
Número de Capas de Gomas	n	34	41	12	-
Espesor Total de la Goma	H	167	162	42	mm
Centroide del Espesor de Goma	-	83.50	81.00	21	mm
Espesor de plato de Acero	ts	3.10	3.10	2.20	mm
Altura de Núcleo de Goma Laminado	-	-	-	42	mm
Altura Total del Aislador	Ht	325	342	98	mm
Peso de Goma de Núcleo Laminado	-	-	-	0.50	kN
Peso del Aislador	Pt	7.00	5.90	9.10	kN
Dimensión Exterior del Plato SUS	L2	-	-	1300	mm
Espesor del Plato SUS	ts	-	-	28	mm
Peso del Plato SUS	Pf	-	-	4.30	kN
Primer Factor de Forma	S1	35.70	38.00	21.40	-
Segundo Factor de Forma	S2	4.20	3.70	7.40	-

Fuente: Bridgestone (2017)

La distribución en planta de los aisladores se realizó identificando los requerimientos de rigidez y la variación entre los desplazamiento de sus extremos, evitando movimientos torsionales en la estructura. De acuerdo a esas condiciones, los aisladores LL070G4 E y LH060G4 C fueron colocados en el perímetro rodeado a los deslizadores SL030GC.

Tabla N° 71 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema LRB

Ubicación en Planta			
	A	B	C
7	LL070G4 E	LL070G4 E	LL070G4 E
6	LL070G4 E	SL030GC	LL070G4 E
5	LL070G4 E	SL030GC	LL070G4 E
4	LH060G4 C	SL030GC	LH060G4 C
3	LH060G4 C	SL030GC	LH060G4 C
2	LH060G4 C	SL030GC	LH060G4 C
1	LH060G4 C	LH060G4 C	LH060G4 C

Fuente: Propia

Junto a los deslizadores SL030GC $d=300$ mm se usó platos deslizantes SUS con un longitud de 1300 mm y 28 mm de espesor, sobre el cuál se desplazará. La diferencia entre ambos corresponde al desplazamiento último admisible del dispositivo, el cuál para el sistema LRB corresponde a 550 mm.

Los aisladores y deslizadores están contenidos sobre bridas de dimensiones mayores. En el caso de los aisladores LL070G4 E y LH060G4 C las bridas de acero son de 900 mm de diámetro. Mientras que el limitante inferior de los deslizadores son los platos cuadrados SUS de 1300 mm de lado.

De acuerdo a las dimensiones de las bridas y el plato deslizante SUS se establece las medidas de la sección de los pedestales inferiores. Los cuales para los aisladores LRB son de 1.00 x 1.00 m² y para los deslizadores, ubicados en el centro, son de 1.40 x 1.40m² de sección. La selección final de sus dimensiones se debe contemplar el espacio disponible en planta.

Tabla N° 72 - Dimensión de pedestales inferiores del Sistema LRB

Dimensión de Pedestales (m)			
	A	B	C
7	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.40	1.00
5	1.00	1.40	1.00
4	1.00	1.40	1.00
3	1.00	1.40	1.00
2	1.00	1.40	1.00
1	1.00	1.00	1.00

Fuente: Propia

En el diseño, las propiedades histeréticas finales de los aisladores se determinan para el límite inferior y el límite superior del análisis. Obteniendo distintos valores de la rigidez para los estados elástico y plástico de los materiales; así como la energía disipada por el movimiento.

Tabla N° 73 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador LRB

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior					
		LL070G4 E	LH060G4 C	SL030GC	
Número de Und.	#	7	9	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	466	466	466	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	623	623	623	mm
Rígidez Inicial	K_1	6183	4683	1192	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	476	360	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	38	38	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	7	9	33	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	41	41	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	259	205	40	kN

Fuente: Propia

Tabla N° 74 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador LRB

Propiedades Histeréticas para Límite Superior					
		LL070G4 E	LH060G4 C	SL030GC	
Número de Und.	#	7	9	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	217	217	217	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	290	290	290	mm
Rígidez Inicial	K_1	20331	15400	3575	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	1564	1185	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	113	113	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	6	8	11	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	122	122	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	452	370	40	kN

Fuente: Propia

Asimismo, el aporte de las propiedades histeréticas calculadas por cada tipo de aislador (HH070X4S, HN060X3R y el deslizador SL030GC) se suman de acuerdo al número de unidades similares para obtener el comportamiento histerético del sistema total como una unidad, evaluado para las condiciones de límite inferior y superior. Por consiguiente, determinar la porción de la masa de la edificación que soporta cada aislador, el cual es 55.84 kN*s2/m por unidad.

Tabla N° 75 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador LRB

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior					
		LL070G4 E	LH060G4 C	SL030GC	
Número de Und.	#	7	9	5	Aisladores
Total de Und.	#	21			Aisladores
Peso Sísmico	W _{SÍSMICO}	11504			kN
Masa Sísmica	M _{SÍSMICO}	1173			kN*s2/m
Masa por Und.	M _{AISLA}	55.84			kN*s2/m
R. Corte Efect.	K _{eq TOTAL}	3893	3967	420	kN/m
R. Corte Inicial	K _{1 TOTAL}	43279	42148	5959	kN/m
R. Corte Post-Fluen.	K _{2 TOTAL}	3329	3242	0	kN/m
R. Comp. Vertical	K _{V TOTAL}	18336105	18142048	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	Q _{d TOTAL}	263	338	199	kN
Energía por Ciclo	ΔW _{TOTAL}	483072	618245	344174	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H _{eq}	0.09	0.11	0.56	-

Fuente: Propia

Tabla N° 76 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador LRB

Propiedades Histeréticas para Límite Superior					
		LL070G4 E	LH060G4 C	SL030GC	
Número de Und.	#	7	9	5	Aisladores
Total de Und.	#	21			Aisladores
Peso Sísmico	$W_{SÍSMICO}$	11504			kN
Masa Sísmica	$M_{SÍSMICO}$	1173			kN*s2/m
Masa por Und.	M_{AISLA}	55.84			kN*s2/m
R. Corte Efect.	$K_{eq\ TOTAL}$	14581	10666	902	kN/m
R. Corte Inicial	$K_1\ TOTAL$	142315	138596	17877	kN/m
R. Corte Post-Fluencia	$K_2\ TOTAL$	10947	10661	0	kN/m
R. Comp. Vertical	$K_V\ TOTAL$	18336105	18142048	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	$Q_d\ TOTAL$	788	1014	199	kN
Energía por Ciclo	ΔW_{TOTAL}	665276	847562	163704	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H_{eq}	0.15	0.27	0.57	-

Fuente: Propia

En base de los resultados obtenidos para la rigidez efectiva (K_{eq} total), resistencia característica a la cortante (Q_d total) y la energía disipada por el ciclo de movimiento histerético (ΔW total) junto a la masa conocida de la superestructura (M_{sismo}) es posible determinar el nuevo periodo efectivo de la edificación y el ratio de amortiguamiento efectivo que el sistema de aislación provee.

Tabla N° 77 – Propiedades histeréticas del Sistema LRB

Propiedades del Sistema de Aislación				
		Límite Inferior	Límite Superior	
Rigidez al Corte Efectiva Total	K_{eq} TOTAL	8280	26149	kN/m
Rigidez al Corte Inicial Total	K_1 TOTAL	91385	298788	kN/m
Rigidez al Corte Post-Fluencia Total	K_2 TOTAL	6571	21609	kN/m
Rigidez a Compresión Vertical Total	K_v TOTAL	45005953		kN/m
Resistencia Característica Total	Q_d TOTAL	800	2001	kN
Energía por Ciclo Total	ΔW TOTAL	1445491	1676542	kN-mm
Ratio de Amortiguamiento Eq.	H_{eq}	0.1279	0.2168	%
Factor B	B	1.31	1.59	-
Peso Sísmico	W_{sismo}	11503.60		kN
Masa Sísmica	M_{sismo}	1172.64		kN*s ² /m
Ratio de Resistencia del Sistema	Q_d / W	0.07	0.17	-
Periodo Efectivo del Sistema	T	2.365	1.331	s
Fuerza de Amortiguamiento		485	1847	-
Sa	Sa	1.04	1.04	g
Desplazamiento Máximo	D_M	466	217	mm
Periodo Efectivo	T	2.365	1.331	s
Amortiguamiento Efectivo	β_{eff}	12.79	21.68	%

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 77** se puede observar el resultado de aplicar un sistema de aislación LRB. El cuál para límite inferior permite un desplazamiento máximo de 466 mm, con un ratio de amortiguamiento efectivo de 12.79% para un nuevo periodo efectivo de 2.365 s. Entretanto para el límite superior el desplazamiento es de 217 mm, en un amortiguamiento cercano de 21.68% con un periodo efectivo de 1.331 s.

4.1.3.3. Sistema FPS

Para el sistema con aisladores de péndulo de fricción simple (FPS) se seleccionó el tipo FIP - D510, con un diámetro de 430 mm indicado en sus especificaciones técnicas. Acompañados de deslizadores SL030GC de 300 de diámetro que apoyen su desplazamiento. Esta información ha sido obtenida de las especificaciones técnicas del catálogo de FIPS para el aislador de péndulo friccionante y Bridgestone para el deslizador, la cual es expresada en unidades de milímetros (mm) y kilonewtons (kN).

Sus características, dimensiones y especificaciones están indicadas en la tabla a continuación.

Tabla N° 78 – Características geométricas de aisladores del Sistema FPS

Características Geométricas				
		FIP - D 510	SL030GC	
Diámetro Exterior	D _o	-	300	mm
Diámetro del Deslizador	D _R	356	-	mm
Diámetro de Superficie Cóncava	D _C	430	-	mm
Diámetro Exterior de Brida	D _f	470	300	mm
Radio de Curvatura	R _C	2500	-	mm
Radio de Curvatura Efectiva	R _{C eff}	2452	-	mm2
Área Efectiva	A _r	7854	70700	mm2
Espesor de una Capa de Goma	tr	-	3.5	mm
Número de Capas de Gomas	n	-	12	-
Espesor Total de la Goma	H	-	42	mm
Centroide del Espesor de Goma	-	-	21	mm
Altura del deslizador	H _R	96	-	mm
Centroide del deslizador	-	48	-	mm
Espesor de plato de Acero	ts	-	3.10	mm
Altura de Núcleo de Goma Laminado	-	-	2.20	mm
Altura Total del Aislador	H _t	296	98	mm
Peso de Goma de Núcleo Laminado	-	-	0.50	kN
Peso del Aislador	P _t	0.83	9.10	kN
Dimensión Exterior del Plato SUS	L ₂	-	1700	mm
Espesor del Plato SUS	ts	-	28	mm
Peso del Plato SUS	P _f	-	4	kN
Primer Factor de Forma	S ₁	-	21.40	-
Segundo Factor de Forma	S ₂	-	7.4	-

Fuente: Propia

La distribución en planta de los aisladores se realizó identificando los requerimientos de rigidez y la variación entre los desplazamiento de sus extremos, evitando movimientos torsionales en la estructura. De acuerdo a esas condiciones, los aisladores HH070X4S y HN060X3R fueron colocados en el perímetro rodeado a los deslizadores SL030GC.

Tabla N° 79 – Ubicación en planta de aisladores del Sistema FPS

Ubicación en Planta			
	A	B	C
7	FIP - D 510	FIP - D 510	FIP - D 510
6	FIP - D 510	SL030GC	FIP - D 510
5	FIP - D 511	SL030GC	FIP - D 510
4	FIP - D 512	SL030GC	FIP - D 510
3	FIP - D 513	SL030GC	FIP - D 510
2	FIP - D 514	SL030GC	FIP - D 510
1	FIP - D 510	FIP - D 510	FIP - D 510

Fuente: Propia

Junto a los deslizadores SL030GC d=300 mm se usó platos deslizantes SUS con un longitud de 1300 mm y 28 mm de espesor, sobre el cuál se desplazará. La diferencia entre ambos corresponde al desplazamiento último admisible del dispositivo, el cuál para el sistema HDRB corresponde a 550 mm.

Los aisladores y deslizadores están contenidos sobre bridas de dimensiones mayores. En el caso de los aisladores HH070X4S y HN0603R las bridas de acero son de 900 mm de diámetro. Mientras que el limitante inferior de los deslizadores son los platos cuadrados SUS de 1300 mm de lado.

De acuerdo a las dimensiones de las bridas y el plato deslizante SUS se establece las medidas de la sección de los pedestales inferiores. Los cuales para los aisladores HDRB son de 1.00 x 1.00 m² y para los deslizadores, ubicados en el centro, son de 1.40 x 1.40m² de sección. La selección final de sus dimensiones se debe contemplar el espacio disponible en planta.

Tabla N° 80 – Dimensión de pedestales inferiores del Sistema FPS

Dimensión de Pedestales (m)			
	A	B	C
7	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.80	1.00
5	1.00	1.80	1.00
4	1.00	1.80	1.00
3	1.00	1.80	1.00
2	1.00	1.80	1.00
1	1.00	1.00	1.00

Fuente: Propia

En el diseño, las propiedades histeréticas finales de los aisladores se determinan para el límite inferior y el límite superior del análisis. Obteniendo distintos valores de la rigidez para los estados elástico y plástico de los materiales; así como la energía disipada por el movimiento.

Tabla N° 81 – Propiedades histeréticas del límite inferior por aislador FPS

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior				
		FIP - D 510	SL030GC	
Número de Und.	#	16	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	685	685	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	915	915	mm
Rígidez Inicial	K_1	2283	1192	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	112	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	27	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	12	33	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	28	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	103	40	kN

Fuente: Bridgestone (2017)

Tabla N° 82 – Propiedades histeréticas del límite superior por aislador FPS

Propiedades Histeréticas para Límite Superior				
		FIP - D 510	SL030GC	
Número de Und.	#	16	5	Aisladores
Desplaz. Máximo	D_M	327	327	mm
Desplaz. Máx. Total	D_{TM}	437	437	mm
Rígidez Inicial	K_1	2283	3675	kN/m
Rígidez Post-Fluencia	K_2	112	0	kN/m
Resistencia Caract.	Q_d	82	40	kN/m
Desplaz. Fluencia	D_y	38	11	mm
Fuerza de Fluencia	F_y	86	40	kN
Fuerza Total Aplicada	$F_{isolator}$	119	40	kN

Fuente: Bridgestone (2017)

Asimismo, el aporte de las propiedades histeréticas calculadas por cada tipo de aislador (FIP-D510 y el deslizador SL030GC) se suman de acuerdo al número de unidades similares para obtener el comportamiento histerético del sistema total como una unidad, evaluado para las condiciones de límite inferior y superior. Por consiguiente, determinar la porción de la masa de la edificación que soporta cada aislador, el cual es 55.84 kN*s2/m por unidad.

Tabla N° 83 – Propiedades histeréticas totales del límite inferior por tipo de aislador FPS

Propiedades Histeréticas para Límite Inferior				
		FIP - D 510	SL030GC	
Número de Und.	#	16	5	Aisladores
Total de Und.	#	21		Aisladores
Peso Sísmico	$W_{SÍSMICO}$	11504		kN
Masa Sísmica	$M_{SÍSMICO}$	1173		kN*s2/m
Masa por Und.	M_{AISLA}	55.84		kN*s2/m
R. Corte Efect.	$K_{eq\ TOTAL}$	2409	278	kN/m
R. Corte Inicial	$K_1\ TOTAL$	36532	5959	kN/m
R. Corte Post-Fluen.	$K_2\ TOTAL$	1787	0	kN/m
R. Comp. Vertical	$K_V\ TOTAL$	3.10E+12	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	$Q_d\ TOTAL$	426	199	kN
Energía por Ciclo	$\Delta W\ TOTAL$	1146121	518189	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H_{eq}	0.16	0.61	-

Fuente: Propia

Tabla N° 84 – Propiedades histeréticas totales del límite superior por tipo de aislador FPS

Propiedades Histeréticas para Límite Superior				
		FIP - D 510	SL030GC	
Número de Und.	#	16	5	Aisladores
Total de Und.	#	21		Aisladores
Peso Sísmico	$W_{SÍSMICO}$	11504		kN
Masa Sísmica	$M_{SÍSMICO}$	1173		kN*s2/m
Masa por Und.	M_{AISLA}	55.84		kN*s2/m
R. Corte Efect.	$K_{eq\ TOTAL}$	5807	582	kN/m
R. Corte Inicial	$K_1\ TOTAL$	36532	18376	kN/m
R. Corte Post-Fluencia	$K_2\ TOTAL$	1787	0	kN/m
R. Comp. Vertical	$K_V\ TOTAL$	3.10E+12	8527801	kN/m
Resistencia Caract.	$Q_d\ TOTAL$	1314	199	kN
Energía por Ciclo	$\Delta W\ TOTAL$	1518621	251327	kN-mm
Ratio de Amort. Eq.	H_{eq}	0.39	0.62	-

Fuente: Propia

En base de los resultados obtenidos para la rigidez efectiva (K_{eq} total), resistencia característica a la cortante (Q_d total) y la energía disipada por el ciclo de movimiento histerético (ΔW total) junto a la masa conocida de la superestructura ($M_{s\acute{m}ico}$) es posible determinar el nuevo periodo efectivo de la edificación y el ratio de amortiguamiento efectivo que el sistema de aislaci3n provee.

Tabla N° 85 – Propiedades hister3ticas del Sistema FPS

Propiedades del Sistema de Aislaci3n				
		L3mite Inferior	L3mite Superior	
R3gidez al Corte Efectiva Total	K_{eq} TOTAL	2687	6388	kN/m
R3gidez al Corte Inicial Total	K_1 TOTAL	42491	54908	kN/m
R3gidez al Corte Post-Fluencia Total	K_2 TOTAL	1787	1787	kN/m
Rigidez a Compresi3n Vertical Total	K_V TOTAL	3103591837273		kN/m
Resistencia Caracter3stica Total	Q_d TOTAL	625	1512	kN
Energ3a por Ciclo Total	ΔW TOTAL	1664310	1769948	kN-mm
Ratio de Amortiguamiento Eq.	H_{eq}	0.2102	0.4128	%
Factor B	B	1.57	2.13	-
Peso S3smico	$W_{s\acute{m}ico}$	11503.60		kN
Masa S3smica	$M_{s\acute{m}ico}$	1172.64		kN*s ² /m
Ratio de Resistencia del Sistema	Q_d / W	0.05	0.13	-
Periodo Efectivo del Sistema	T	4.151	2.692	s
Fuerza de Amortiguamiento		569	1986	-
Sa	Sa	1.04	1.04	g
Desplazamiento M3ximo	D_M	685	327	mm
Periodo Efectivo	T	4.151	2.692	s
Amortiguamiento Efectivo	β_{eff}	21.02	41.28	%

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 85** se puede observar el resultado de aplicar un sistema de aislaci3n FPS. El cu3l para l3mite inferior presenta una rigidez efectiva de 2687 kN/m, un desplazamiento m3ximo de 685 mm, con un ratio de amortiguamiento efectivo de 21.02% para un nuevo periodo efectivo de 4.151 s. Entretanto para el l3mite superior la rigidez efectiva es de 6388 kN/m, el desplazamiento de 327 mm, en un amortiguamiento cercano de 41.28% con un periodo efectivo de 2.692 s.

4.1.4. Análisis Sísmico Estático

De la rigidez efectiva que presenta cada sistema de aislación en conjunto con el desplazamiento máximo de la estructura durante el movimiento sísmico, se obtuvo el valor de la fuerza cortante aplicada en el sistema de aislación (subestructura y superestructura).

4.1.4.1. Sistema HDRB

a. Fuerzas Horizontales

La porción de la cortante correspondiente a superestructura fue reducida por un factor de $R=2$ y distribuida verticalmente en el centro de masa de cada entrepiso. Este análisis se realiza para los límites inferiores y superiores.

Para el sistema de aislación HDRB las fuerzas horizontales se presentan a continuación.

Tabla N° 86 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema HDRB

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Inferior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	2889	0.139	113.91	113.91
4	131.16	11.90	8055	0.388	317.63	317.63
3	132.82	9.30	5414	0.261	213.48	213.48
2	133.26	6.70	3149	0.152	124.18	124.18
1	132.02	3.90	1269	0.061	50.03	50.03
Sumatoria			20777			
Base					266.53	266.53

Fuente: Propia

Tabla N° 87 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema HDRB

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Superior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	2829.99	0.139	317.93	317.93
4	131.16	11.90	7903.27	0.387	887.86	887.86
3	132.82	9.30	5322.08	0.261	597.89	597.89
2	133.26	6.70	3103.46	0.152	348.65	348.65
1	132.02	3.90	1255.53	0.062	141.05	141.05
Sumatoria			20414			
Base					752.52	752.52

Fuente: Propia

b. Desplazamientos

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema HDRB como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 88 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2553	0.5106	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2555	0.5110	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2581	0.5162	0.0052	0.0013	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.2606	0.5212	0.0050	0.0018	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.2630	0.5260	0.0048	0.0018	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.2647	0.5294	0.0034	0.0013	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.2668	0.5336	0.0042	0.0016	0.015	Cumple

Fuente: Propia

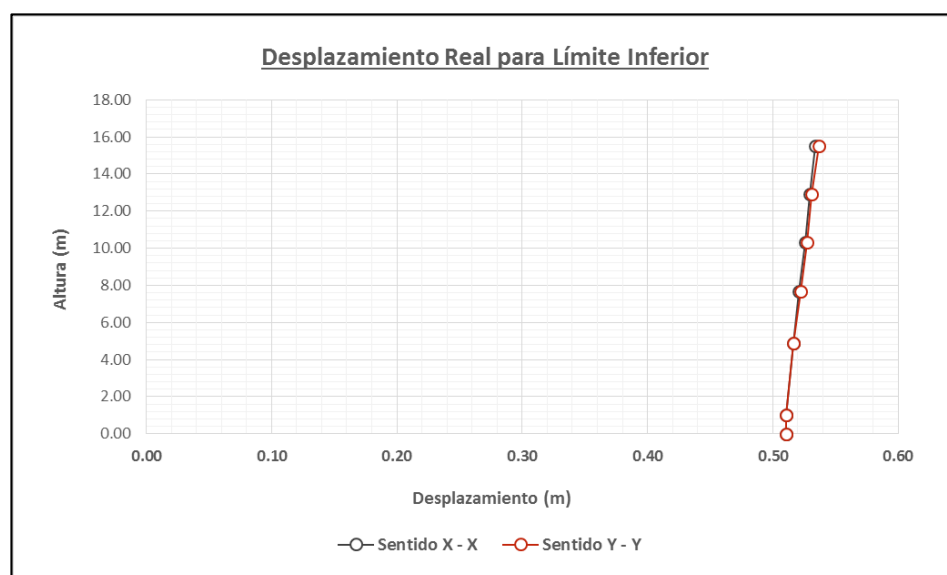
Tabla N° 89 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2552	0.5104	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2554	0.5108	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2583	0.5166	0.0058	0.0015	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.2611	0.5222	0.0056	0.0020	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.2636	0.5272	0.0050	0.0019	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.2655	0.5310	0.0038	0.0015	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.2683	0.5366	0.0056	0.0022	0.015	Cumple

Fuente: Propia

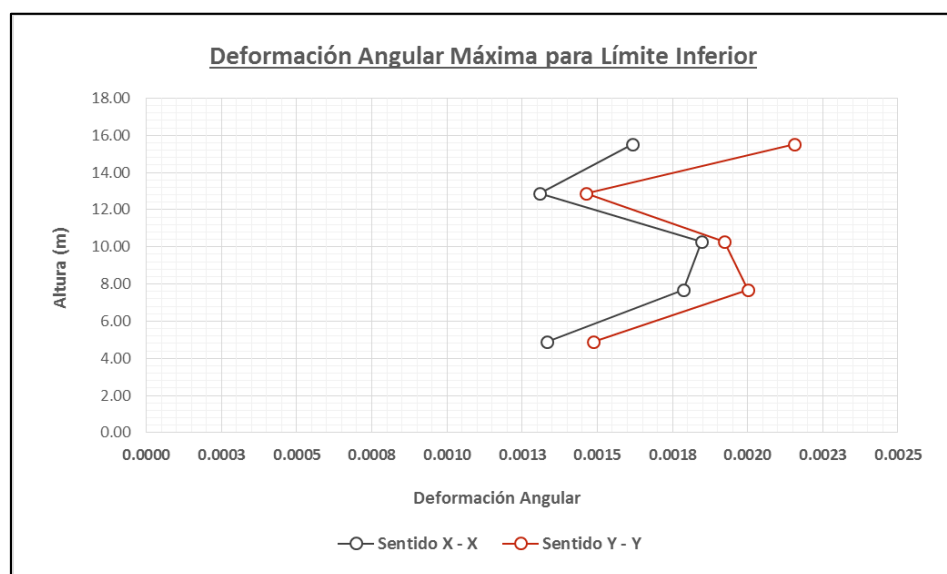
Límite inferior. Las **Gráfica N° 4** y **Gráfica N° 5** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.5106 m y deriva máxima de 0.0018 en el segundo y tercer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.5104 m y una deriva máxima de 0.0022 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 4 – Desplazamientos de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 5 – Derivas de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas producidas por las propiedades del límite superior son mostrados en las **Tabla N° 90** y **Tabla N° 91**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 90 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0913	0.1826	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0918	0.1836	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0991	0.1982	0.0146	0.0037	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1061	0.2122	0.0140	0.0050	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1128	0.2256	0.0134	0.0052	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1176	0.2352	0.0096	0.0037	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1240	0.2480	0.0128	0.0049	0.015	Cumple

Fuente: Propia

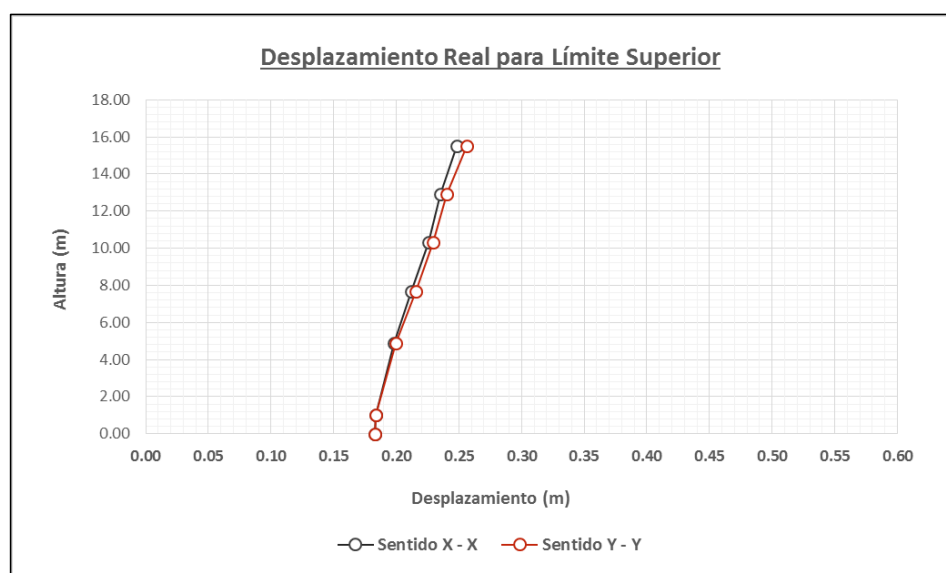
Tabla N° 91 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0914	0.1828	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0918	0.1836	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0998	0.1996	0.0160	0.0041	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1077	0.2154	0.0158	0.0056	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1148	0.2296	0.0142	0.0055	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1200	0.2400	0.0104	0.0040	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1281	0.2562	0.0162	0.0062	0.015	Cumple

Fuente: Propia

Límite superior. Las **Gráfica N° 6** y **Gráfica N° 7** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.1826 m y deriva máxima de 0.0052 en el tercer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.1828 m y una deriva máxima de 0.0062 en el quinto entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 6 – Desplazamientos de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 7 – Derivas de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

c. **Fuerzas de Levantamiento**

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 92 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-132.81	-22.75	-0.600	-0.097
2	1 - B	109	-108.26	-32.50	-0.500	-0.100
3	1 - C	157	-71.81	-45.05	-0.300	-0.094
4	2 - A	5	-113.74	-27.06	-0.800	-0.200
5	2 - B	121	-101.75	-39.82	-0.600	-0.200
6	2 - C	163	-74.48	-44.66	-0.500	-0.100
7	3 - A	6	-103.46	-28.28	-0.700	-0.200
8	3 - B	115	-90.22	-44.52	-0.500	-0.300
9	3 - C	169	-74.78	-26.28	-0.500	-0.054
10	4 - A	61	-148.37	-20.73	-0.600	-0.089
11	4 - B	127	-112.90	-38.05	-0.600	-0.200
12	4 - C	175	-95.04	-54.24	-0.400	-0.075
13	5 - A	67	-117.22	-50.13	-0.500	-0.200
14	5 - B	133	-119.59	-68.50	-0.700	-0.200
15	5 - C	181	-104.60	-50.21	-0.400	-0.057
16	6 - A	73	-128.28	-37.80	-0.500	-0.200
17	6 - B	139	-101.27	-52.17	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-95.28	-50.28	-0.400	-0.084
19	7 - A	103	-70.81	-35.69	-0.300	-0.200
20	7 - B	151	-77.40	-48.39	-0.300	-0.100
21	7 - C	208	-64.38	-6.81	-0.300	-0.019
Máximo			-64.38	-6.81	-0.30	-0.019
Mínimo			-148.37	-68.50	-0.80	-0.30

Fuente: Propia

Tabla N° 93 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-191.16	35.61	-0.800	0.200
2	1 - B	109	-137.60	-3.15	-0.600	-0.013
3	1 - C	157	-93.26	-26.58	-0.400	-0.027
4	2 - A	5	-154.24	13.45	-1.100	0.095
5	2 - B	121	-118.91	-22.66	-0.700	-0.100
6	2 - C	163	-101.35	-17.81	-0.700	-0.053
7	3 - A	6	-134.49	2.76	-0.900	-0.019
8	3 - B	115	-94.82	-39.92	-0.500	-0.200
9	3 - C	169	-118.49	17.40	-0.800	0.300
10	4 - A	61	-211.09	42.06	-0.900	0.200
11	4 - B	127	-134.18	-16.70	-0.800	-0.096
12	4 - C	175	-130.58	-19.99	-0.600	-0.077
13	5 - A	67	-127.39	-39.90	-0.500	-0.200
14	5 - B	133	-146.97	-61.25	-0.800	-0.059
15	5 - C	181	-153.47	-1.30	-0.700	0.200
16	6 - A	73	-164.46	-1.60	-0.700	-0.068
17	6 - B	139	-104.06	-49.35	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-135.79	-9.78	-0.600	0.089
19	7 - A	103	-76.99	-29.51	-0.300	-0.100
20	7 - B	151	-103.39	-22.53	-0.400	0.010
21	7 - C	208	-116.24	45.04	-0.500	0.200
Máximo			-76.99	45.04	-0.30	0.30
Mínimo			-211.09	-61.25	-1.10	-0.30

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 91** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis el sistema puede producir un aplastamiento máximo de 0.80 mm con una fuerza a compresión de 148.37 kN. De la misma forma, en la **Tabla N° 92** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a atracción de 45.04 kN con un levantamiento de 0.30 mm y un carga a compresión de 211.09 kN con un aplastamiento de 1.10 mm.

4.1.4.2. Sistema LRB

a. Fuerzas Horizontales

La porción de la cortante correspondiente a superestructura fue reducida por un factor de $R=2$ y distribuida verticalmente en el centro de masa de cada entrepiso. Este análisis se realiza para los límites inferiores y superiores.

Para el sistema de aislación LRB las fuerzas horizontales se presentan a continuación.

Tabla N° 94 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema LRB

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Inferior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	340	0.098	114.67	114.67
4	131.16	11.90	1112	0.320	374.48	374.48
3	132.82	9.30	910	0.262	306.55	306.55
2	133.26	6.70	688	0.198	231.76	231.76
1	132.02	3.90	427	0.123	143.93	143.93
Sumatoria			3477			
Base					757.97	757.97

Fuente: Propia

Tabla N° 95 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema LRB

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Superior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	1693.13	0.128	260.09	260.09
4	131.16	11.90	4911.31	0.372	754.44	754.44
3	132.82	9.30	3467.68	0.263	532.68	532.68
2	133.26	6.70	2153.57	0.163	330.81	330.81
1	132.02	3.90	966.69	0.073	148.50	148.50
Sumatoria			13192			
Base					809.19	809.19

Fuente: Propia

b. Desplazamientos

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema LRB como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 96 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2336	0.4672	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2340	0.4680	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2380	0.4760	0.0080	0.0021	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.2413	0.4826	0.0066	0.0024	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.2443	0.4886	0.0060	0.0023	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.2460	0.4920	0.0034	0.0013	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.2475	0.4950	0.0030	0.0012	0.015	Cumple

Fuente: Propia

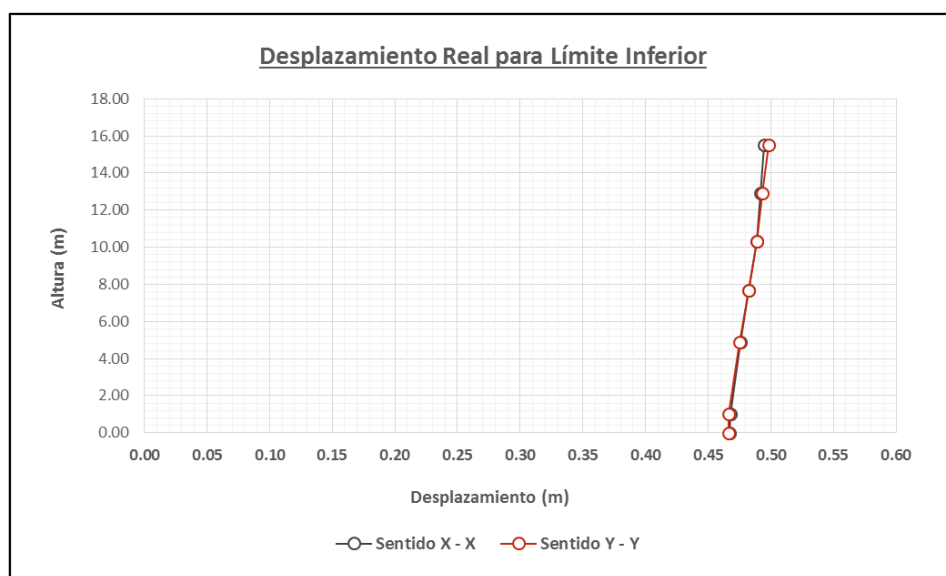
Tabla N° 97 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2331	0.4662	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2331	0.4662	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2374	0.4748	0.0086	0.0022	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.2412	0.4824	0.0076	0.0027	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.2444	0.4888	0.0064	0.0025	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.2466	0.4932	0.0044	0.0017	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.2492	0.4984	0.0052	0.0020	0.015	Cumple

Fuente: Propia

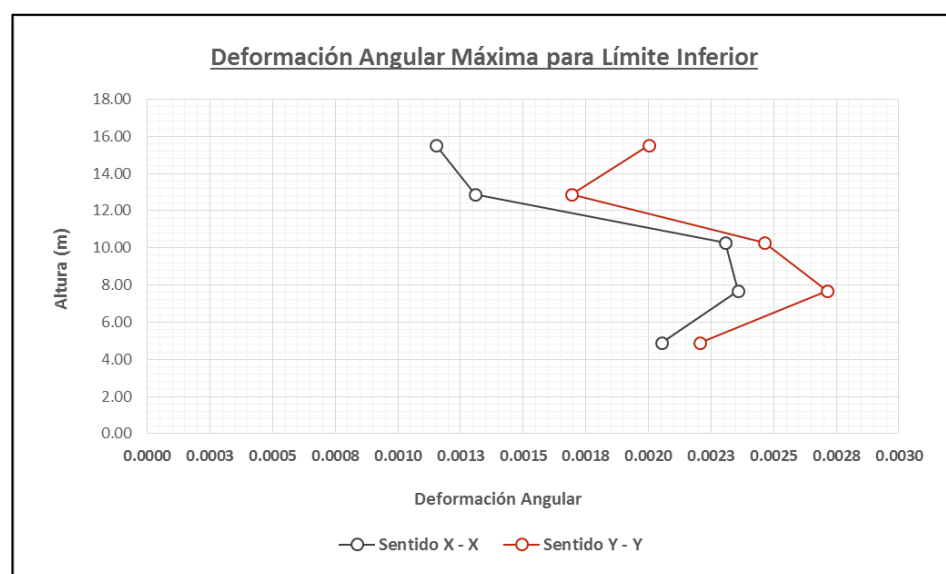
Límite inferior. Las **Gráfica N° 8** y **Gráfica N° 9** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.4672 m y deriva máxima de 0.0024 en el segundo entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.4662 m y una deriva máxima de 0.0027 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 8 – Desplazamientos de límite Inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 9 – Derivas de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas producidas por las propiedades del límite superior son mostrados en las **Tabla N° 98** y **Tabla N° 99**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 98 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1122	0.2244	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1130	0.2260	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1204	0.2408	0.0148	0.0038	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1263	0.2526	0.0118	0.0042	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1320	0.2640	0.0114	0.0044	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1353	0.2706	0.0066	0.0025	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1382	0.2764	0.0058	0.0022	0.015	Cumple

Fuente: Propia

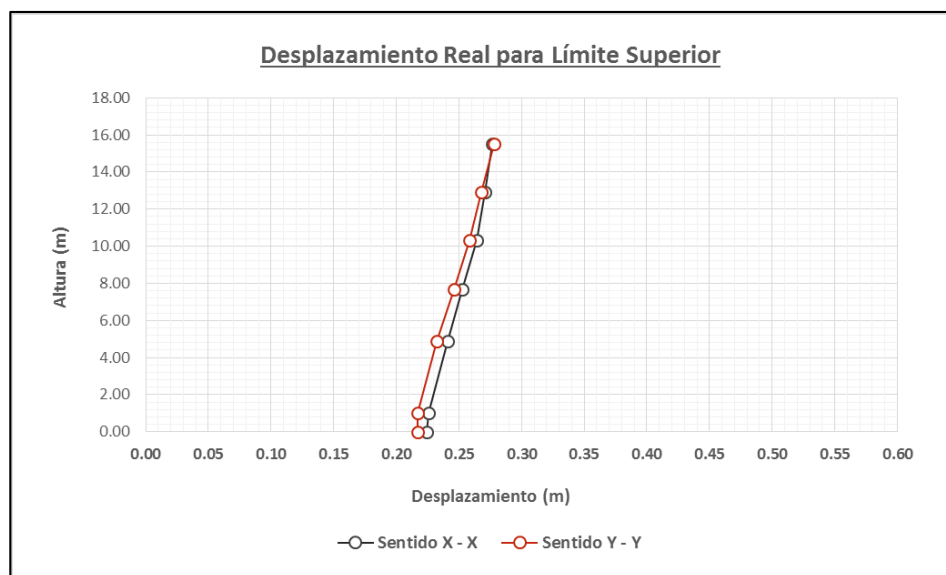
Tabla N° 99 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1087	0.2174	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1085	0.2171	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1162	0.2324	0.0153	0.0039	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1231	0.2462	0.0138	0.0049	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1293	0.2586	0.0124	0.0048	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1338	0.2676	0.0090	0.0035	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1392	0.2784	0.0108	0.0042	0.015	Cumple

Fuente: Propia

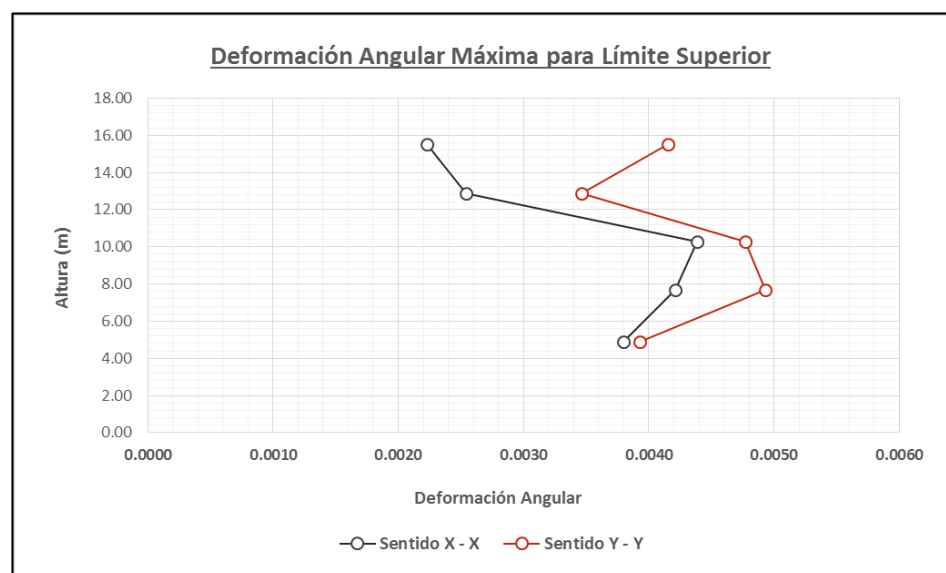
Límite superior. La **Gráfica N° 10** y **Gráfica N° 11** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2244 m y deriva máxima de 0.0044 en el tercer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.2174 m y una deriva máxima de 0.0048 en el tercer entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 10 – Desplazamientos de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 11 – Derivas de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

c. **Fuerzas de Levantamiento**

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 100 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-1372.04	-102.23	-0.700	-0.051
2	1 - B	109	-1120.94	-260.79	-0.600	-0.100
3	1 - C	157	-721.06	-430.88	-0.400	-0.089
4	2 - A	5	-1279.33	-192.15	-0.600	-0.095
5	2 - B	121	-985.78	-323.55	-0.600	-0.200
6	2 - C	163	-838.12	-423.18	-0.400	-0.077
7	3 - A	6	-1145.07	-238.33	-0.600	-0.100
8	3 - B	115	-847.76	-395.91	-0.500	-0.200
9	3 - C	169	-893.91	-173.44	-0.400	-0.023
10	4 - A	61	-1456.67	-84.47	-0.700	-0.042
11	4 - B	127	-1166.07	-348.89	-0.700	-0.200
12	4 - C	175	-937.47	-452.91	-0.500	-0.050
13	5 - A	67	-1206.72	-480.76	-0.500	-0.200
14	5 - B	133	-1200.60	-707.53	-0.700	-0.200
15	5 - C	181	-1149.90	-411.79	-0.400	-0.015
16	6 - A	73	-1342.78	-299.99	-0.500	-0.100
17	6 - B	139	-985.93	-487.83	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-1023.23	-425.19	-0.400	-0.300
19	7 - A	103	-697.68	-336.15	-0.300	-0.100
20	7 - B	151	-815.39	-434.50	-0.300	-0.071
21	7 - C	208	-737.21	53.13	-0.300	0.062
Máximo			-697.68	53.13	-0.30	0.06
Mínimo			-1456.67	-707.53	-0.70	-0.30

Fuente: Propia

Tabla N° 101 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-1698.68	224.49	-0.800	0.100
2	1 - B	109	-1287.01	-94.69	-0.600	-0.047
3	1 - C	157	-833.71	-318.29	-0.400	-0.034
4	2 - A	5	-1531.58	60.16	-0.800	0.030
5	2 - B	121	-1083.82	-225.50	-0.600	-0.100
6	2 - C	163	-1001.17	-260.20	-0.500	-0.040
7	3 - A	6	-1342.08	-41.27	-0.700	-0.020
8	3 - B	115	-881.05	-362.61	-0.500	-0.200
9	3 - C	169	-1170.26	102.83	-0.600	0.200
10	4 - A	61	-1809.14	268.26	-0.900	0.100
11	4 - B	127	-1290.52	-224.17	-0.800	-0.100
12	4 - C	175	-1124.07	-266.26	-0.600	0.043
13	5 - A	67	-1262.27	-424.97	-0.500	-0.200
14	5 - B	133	-1376.48	-634.43	-0.400	-0.083
15	5 - C	181	-1448.81	-112.71	-0.800	-0.099
16	6 - A	73	-1556.13	-86.58	-0.600	-0.033
17	6 - B	139	-998.75	-474.94	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-1262.12	-186.34	-0.500	-0.045
19	7 - A	103	-732.58	-301.24	-0.300	-0.100
20	7 - B	151	-971.56	-278.36	-0.400	-0.012
21	7 - C	208	-1034.84	350.72	-0.400	0.200
Máximo			-732.58	350.72	-0.30	0.20
Mínimo			-1809.14	-634.43	-0.90	-0.30

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 100** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis el sistema puede producir un aplastamiento máximo de 0.70 mm con una fuerza a compresión de 1456.67 kN. Así como también genera fuerza a tracción de 53.13 kN con un levantamiento de 0.06 mm. De la misma forma, en la **Tabla N° 101** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a atracción de 350.72 kN con un levantamiento de 0.20 mm y un carga a compresión de 1809.14 kN con un aplastamiento de 0.90 mm.

4.1.4.3. Sistema FPS

a. Fuerzas Horizontales

La porción de la cortante correspondiente a superestructura fue reducida por un factor de $R=2$ y distribuida verticalmente en el centro de masa de cada entrepiso. Este análisis se realiza para los límites inferiores y superiores.

Para el sistema de aislación FPS las fuerzas horizontales se presentan a continuación.

Tabla N° 102 – Fuerzas horizontales de límite inferior para Sistema FPS

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Inferior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	1502	0.126	81.84	81.84
4	131.16	11.90	4397	0.369	239.50	239.50
3	132.82	9.30	3139	0.263	170.98	170.98
2	133.26	6.70	1978	0.166	107.75	107.75
1	132.02	3.90	910	0.076	49.55	49.55
Sumatoria			11926			
Base					270.50	270.50

Fuente: Propia

Tabla N° 103 – Fuerzas horizontales de límite superior para Sistema FPS

Distribución de Fuerzas Horizontales para Límite Superior						
Entrepiso	W kN	H m	$w_x h^k$ kN-m	C_{vx}	Fx kN	Fy kN
5	33.86	14.50	58219	0.203	216.77	216.77
4	131.16	11.90	130029	0.453	484.15	484.15
3	132.82	9.30	66259	0.231	246.71	246.71
2	133.26	6.70	26667	0.093	99.29	99.29
1	132.02	3.90	5851	0.020	21.78	21.78
Sumatoria			287025			
Base					-24.86	-24.86

Fuente: Propia

b. Desplazamientos

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema FPS como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 104 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δ_i	Δ_{MAX}	$\Delta_i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3422	0.6844	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3424	0.6848	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3436	0.6872	0.0024	0.0006	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.3456	0.6912	0.0040	0.0014	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.3474	0.6948	0.0036	0.0014	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.3492	0.6984	0.0036	0.0014	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.3527	0.7054	0.0070	0.0027	0.015	Cumple

Fuente: Propia

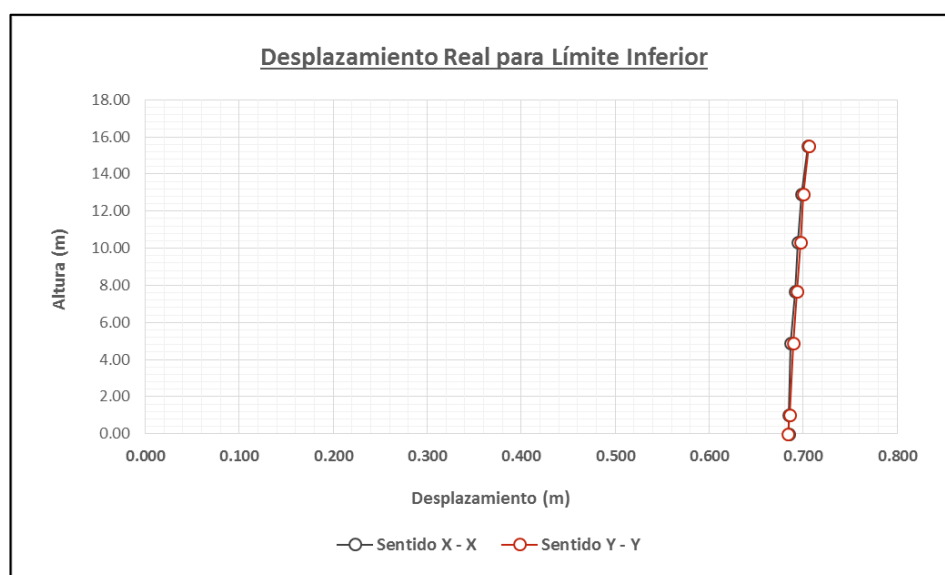
Tabla N° 105 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δ_i	Δ_{MAX}	$\Delta_i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3418	0.6836	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3429	0.6858	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3447	0.6894	0.0036	0.0009	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.3468	0.6936	0.0042	0.0015	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.3488	0.6976	0.0040	0.0015	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.3500	0.7000	0.0024	0.0009	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.3531	0.7062	0.0062	0.0024	0.015	Cumple

Fuente: Propia

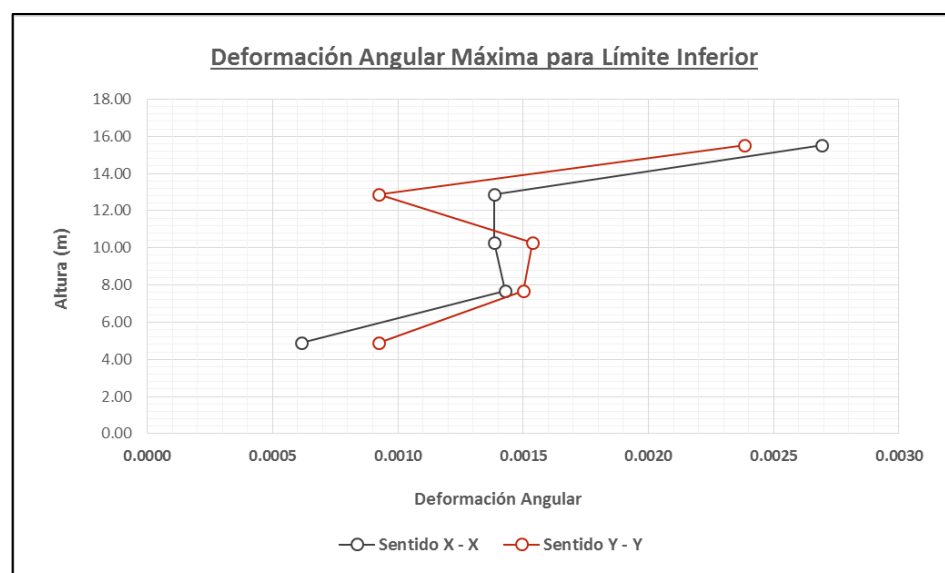
Límite inferior. Las **Gráfica N° 12** y **Gráfica N° 13** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.6844 m y deriva máxima de 0.0027 en el quinto entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.6836 m y una deriva máxima de 0.0015 en el segundo y tercer entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 12 – Desplazamiento de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 13 – Derivas de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas producidas por las propiedades del límite superior son mostrados en las **Tabla N° 106** y **Tabla N° 107**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 106 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1635	0.3270	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1635	0.3270	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1664	0.3328	0.0058	0.0015	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1698	0.3396	0.0068	0.0024	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1731	0.3462	0.0066	0.0025	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1760	0.3520	0.0058	0.0022	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1809	0.3618	0.0098	0.0038	0.015	Cumple

Fuente: Propia

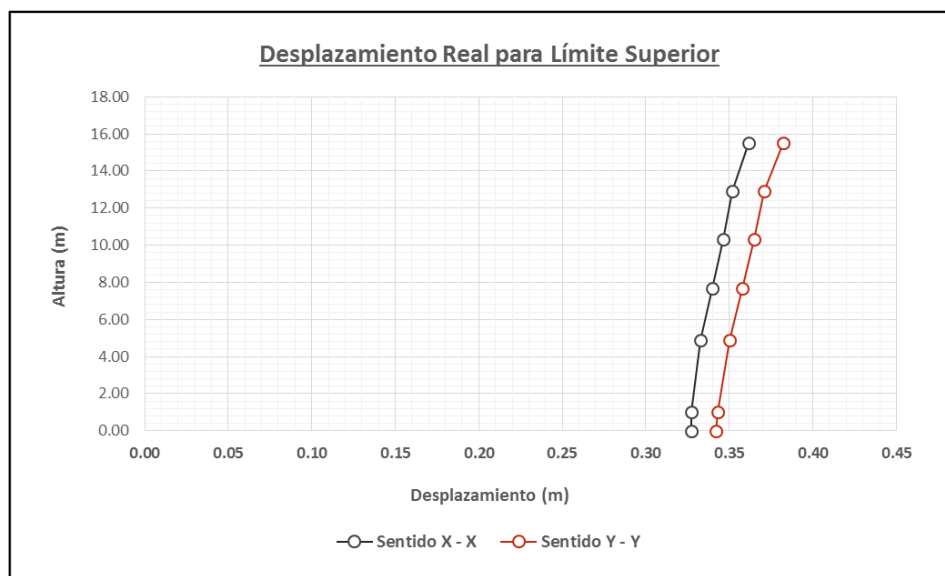
Tabla N° 107 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1711	0.3422	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1715	0.3430	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1750	0.3500	0.0070	0.0018	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1788	0.3576	0.0076	0.0027	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1825	0.3650	0.0074	0.0028	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1854	0.3708	0.0058	0.0022	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1911	0.3822	0.0114	0.0044	0.015	Cumple

Fuente: Propia

Límite superior. La **Gráfica N° 14** y **Gráfica N° 15** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.3270 m y deriva máxima de 0.0038 en el quinto entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.3422 m y una deriva máxima de 0.0044 en el quinto entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 14 – Desplazamiento de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 15 – Derivas de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

c. **Fuerzas de Levantamiento**

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 108 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-115.96	-27.07	0.000	0.000
2	1 - B	109	-120.33	-40.54	0.000	0.000
3	1 - C	157	-60.92	-38.51	0.000	0.000
4	2 - A	5	-124.61	-37.52	0.000	0.000
5	2 - B	121	-72.95	-29.14	-0.400	-0.200
6	2 - C	163	-86.44	-53.76	0.000	0.000
7	3 - A	6	-106.23	-38.33	0.000	0.000
8	3 - B	115	-75.11	-34.03	-0.400	-0.200
9	3 - C	169	-80.94	-33.59	0.000	0.000
10	4 - A	61	-147.81	-24.07	0.000	0.000
11	4 - B	127	-97.26	-35.30	-0.600	-0.200
12	4 - C	175	-94.53	-52.18	0.000	0.000
13	5 - A	67	-117.55	-58.67	0.000	0.000
14	5 - B	133	-100.01	-55.32	-0.600	-0.200
15	5 - C	181	-106.90	-62.24	0.000	0.000
16	6 - A	73	-134.88	-45.71	0.000	0.000
17	6 - B	139	-83.17	-41.27	-0.500	-0.200
18	6 - C	187	-101.25	-63.20	0.000	0.000
19	7 - A	103	-62.72	-33.52	0.000	0.000
20	7 - B	151	-85.62	-55.76	0.000	0.000
21	7 - C	208	-50.34	-6.52	0.000	0.000
Máximo			-50.34	-6.52	0.00	0.000
Mínimo			-147.81	-63.20	-0.60	-0.20

Fuente: Propia

Tabla N° 109 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-132.81	-10.21	0.000	0.000
2	1 - B	109	-130.48	-30.38	0.000	0.000
3	1 - C	157	-67.48	-34.69	0.000	0.000
4	2 - A	5	-138.18	-23.94	0.000	0.000
5	2 - B	121	-77.00	-25.08	-0.400	-0.100
6	2 - C	163	-94.07	-57.08	0.000	0.000
7	3 - A	6	-115.67	-28.89	0.000	0.000
8	3 - B	115	-78.05	-31.08	-0.400	-0.200
9	3 - C	169	-97.07	-17.48	0.000	0.000
10	4 - A	61	-173.37	1.56	0.000	0.000
11	4 - B	127	-103.37	-29.14	-0.600	-0.200
12	4 - C	175	-103.60	-58.22	0.000	0.000
13	5 - A	67	-119.38	-60.51	0.000	0.000
14	5 - B	133	-109.20	-64.55	-0.400	-0.200
15	5 - C	181	-124.86	-45.06	0.000	0.000
16	6 - A	73	-147.27	-33.31	0.000	0.000
17	6 - B	139	-83.67	-40.76	-0.500	-0.200
18	6 - C	187	-114.81	-52.33	0.000	0.000
19	7 - A	103	-64.37	-31.87	0.000	0.000
20	7 - B	151	-94.98	-52.98	0.000	0.000
21	7 - C	208	-64.84	7.98	0.000	0.000
Máximo			-64.37	7.98	0.00	0.000
Mínimo			-173.37	-64.55	-0.60	-0.20

Fuente: Propia

El sistema FPS se caracteriza por no presentar deformaciones verticales por cargas de aplastamiento o levantamiento, debido a su alta resistencia a cargas axiales. Aun así, en las **Tabla N° 108** y **Tabla N° 109** se puede observar que el aplastamiento indicado corresponde a los deslizadores con un valor de 0.20 mm correspondiente a una fuerza de 147.81 kN (Límite inferior) y de 173.37 kN (Límite superior).

4.1.5. Análisis Sísmico Dinámico

El ratio de amortiguamiento (β_M), obtenido de las condiciones de diseño, modifica los valores de espectro de respuesta de diseño de los tres primeros modos fundamentales de vibración incrementando sus periodos, disminuyendo la máxima aceleración de diseño y disminuyendo la cortante por sismo

4.1.5.1. Sistema HDRB

a. Modos Fundamentales

El amortiguamiento efectivo obtenido de 24.64% para límite inferior y de 24.53% para límite superior en el sistema HDRB, modifican los periodos de los modos fundamentales de vibración de la superestructura para cada caso.

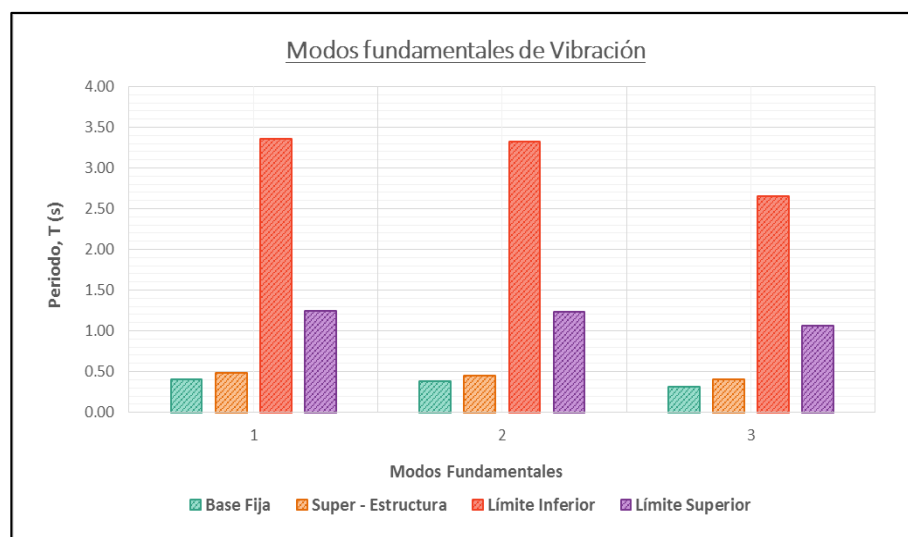
Tabla N° 110 – Modos de vibración del Sistema HDRB

Periodos de los Modos Fundamentales				
Modo	Base Fija	Super Estructura	Límite Inferior	Límite Superior
1	0.401	0.482	3.354	1.250
2	0.379	0.453	3.320	1.238
3	0.310	0.410	2.651	1.060
4	0.156	0.204	0.332	0.319
5	0.152	0.183	0.316	0.305
6	0.127	0.163	0.282	0.271
7	0.099	0.137	0.194	0.194
8	0.097	0.128	0.176	0.175
9	0.085	0.122	0.158	0.157
10	0.077	0.079	0.127	0.127
11	0.077	0.078	0.119	0.119
12	0.077	0.077	0.116	0.116
13	0.076	0.077	0.078	0.078
14	0.076	0.076	0.077	0.077
15	0.075	0.076	0.077	0.077

Fuente: Propia

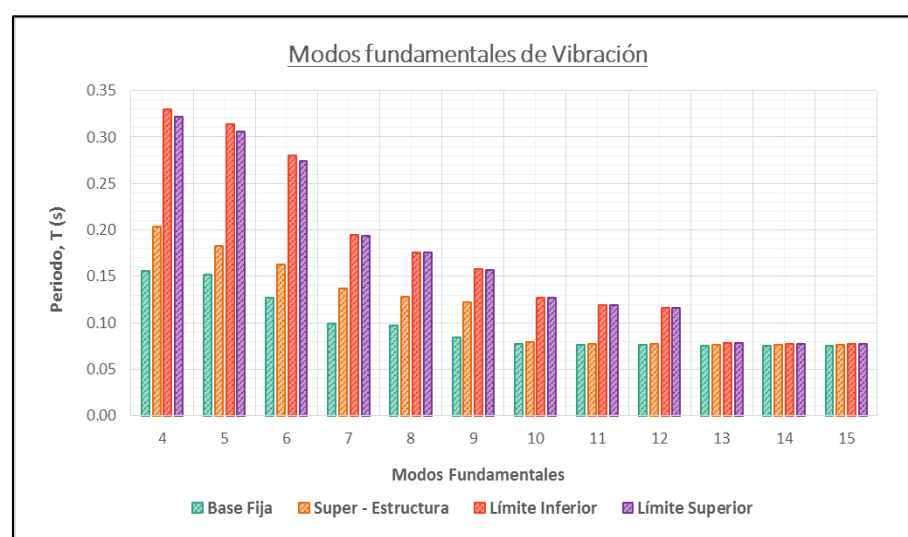
En el **Gráfico N° 16** se puede ver un comparativo de incrementos de los periodos en los modos fundamentales de vibración para HDRB de la **Tabla N° 110**. Donde en el primer modo (modo 1) se dan los periodos más altos: 0.401 s en estructura convencional, 0.482 s en la superestructura, 3.354 s para el análisis del límite inferior y 1.25 s para el límite superior.

Gráfica N° 16 – Principales modos fundamentales de vibración del Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 17 – Comparación de los modos fundamentales de vibración del Sistema HDRB

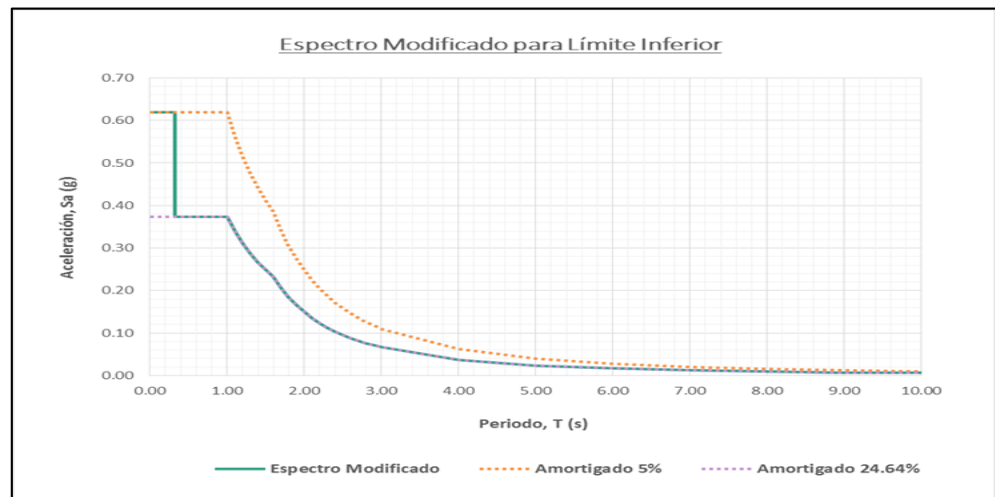


Fuente: Propia

b. **Espectro Modificado de Diseño**

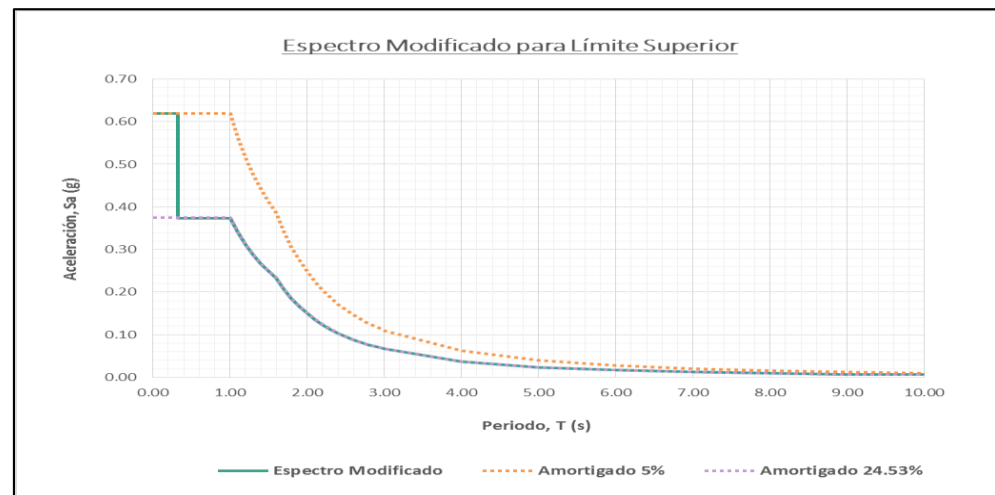
Los **Gráfico N° 18** y **Grafico N° 19** presentan la variación del espectro de respuesta para $R=2$ por la implementación del sistema de aislación HDRB. Donde, el espectro comienza con las aceleraciones para un amortiguamiento de 5% y se reducen aun amortiguamiento de 24.64% (Límite inferior) y de 24.53% (Límite inferior).

Gráfica N° 18 – Espectro modificado del límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 19 – Espectro modificado del límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

c. **Desplazamientos**

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema HDRB como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 111 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1223	0.2446	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1224	0.2448	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1234	0.2468	0.0020	0.0005	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1242	0.2484	0.0016	0.0006	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1249	0.2498	0.0014	0.0005	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1253	0.2506	0.0008	0.0003	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1258	0.2516	0.0010	0.0004	0.015	Cumple

Fuente: Propia

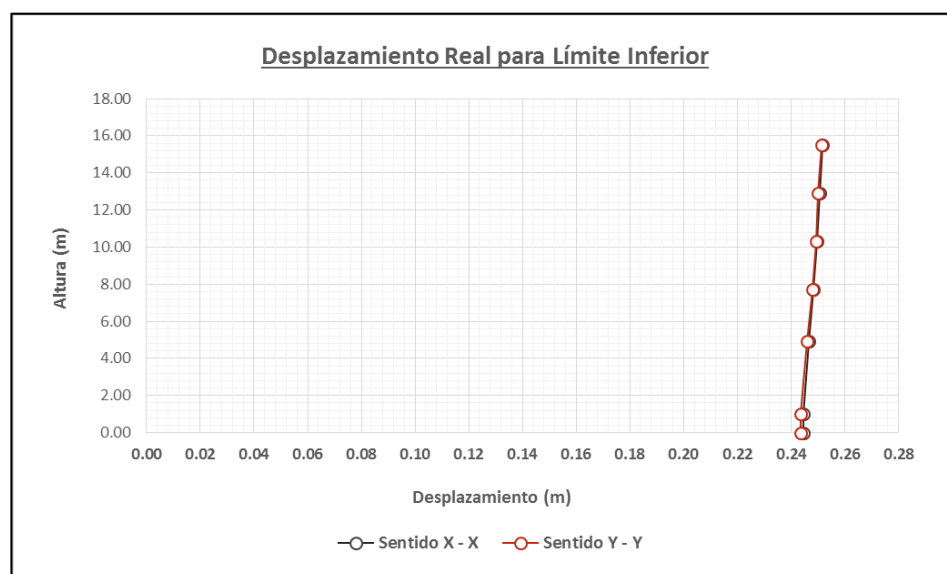
Tabla N° 112 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1218	0.2436	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1219	0.2438	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1230	0.2460	0.0022	0.0006	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1240	0.2480	0.0020	0.0007	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1247	0.2494	0.0014	0.0005	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1251	0.2502	0.0008	0.0003	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1257	0.2514	0.0012	0.0005	0.015	Cumple

Fuente: Propia

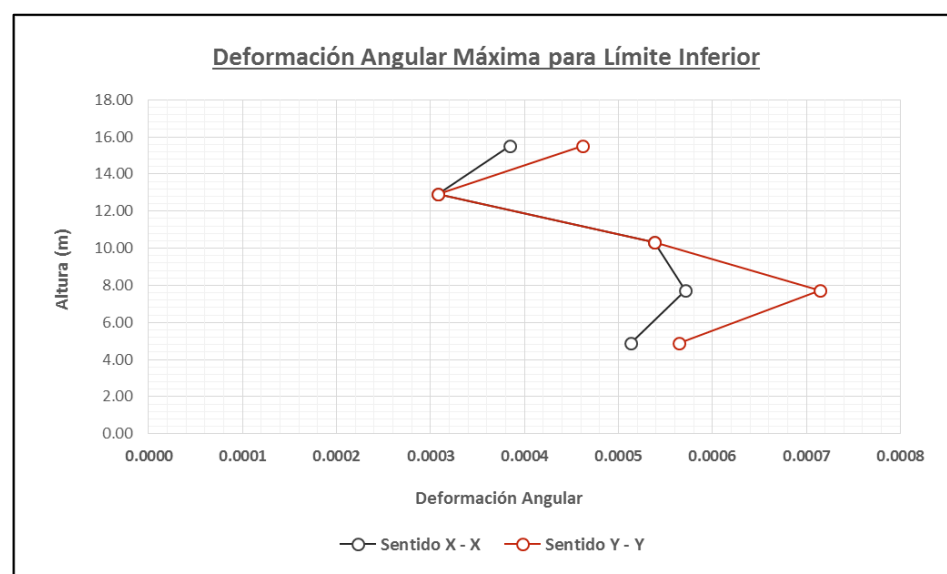
Límite inferior. Las **Gráfica N° 20** y **Gráfica N° 21** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2446 m y deriva máxima de 0.0006 en el segundo entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.2436 m y una deriva máxima de 0.0007 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 20 – Desplazamientos de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 21 – Derivas de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas producidas por las propiedades del límite superior son mostrados a continuación en las **Tabla N° 113** y **Tabla N° 114**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 113 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0864	0.1728	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0871	0.1742	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0937	0.1874	0.0132	0.0034	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.0984	0.1968	0.0094	0.0034	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1024	0.2048	0.0080	0.0031	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1042	0.2084	0.0036	0.0014	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1072	0.2144	0.0060	0.0023	0.015	Cumple

Fuente: Propia

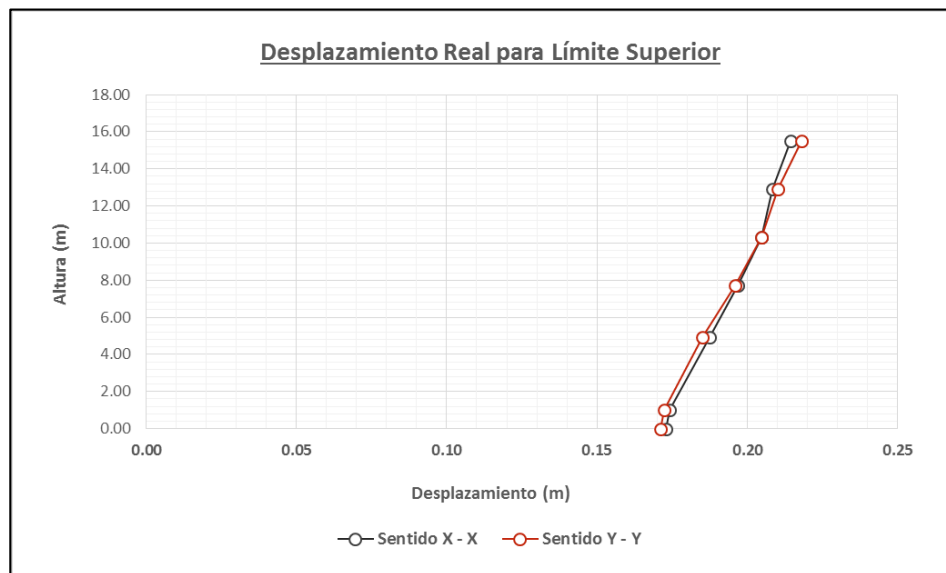
Tabla N° 114 - Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0856	0.1712	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0861	0.1722	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0925	0.1850	0.0128	0.0033	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.0980	0.1960	0.0110	0.0039	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1023	0.2046	0.0086	0.0033	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1051	0.2102	0.0056	0.0022	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1090	0.2180	0.0078	0.0030	0.015	Cumple

Fuente: Propia

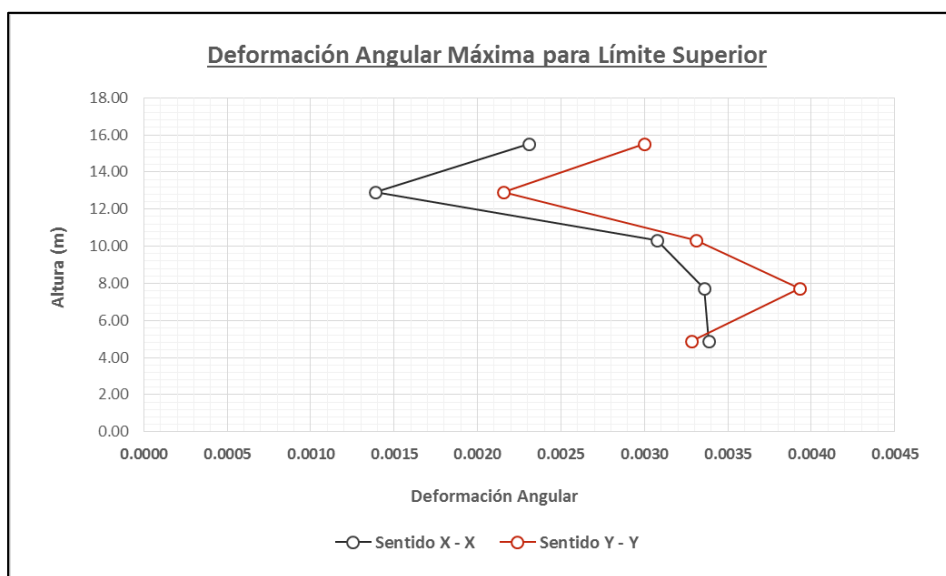
Límite superior. La **Gráfica N° 22** y **Gráfica N° 23** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.1728 m y deriva máxima de 0.0034 en el segundo y tercer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.1712 m y una deriva máxima de 0.0039 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 22 – Desplazamiento de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 23 - Derivas de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

d. **Fuerzas de Levantamiento**

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 115 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-109.25	-63.98	-0.500	-0.300
2	1 - B	109	-96.72	-53.53	-0.400	-0.200
3	1 - C	157	-69.83	-43.88	-0.300	-0.200
4	2 - A	5	-97.77	-56.06	-0.700	-0.400
5	2 - B	121	-94.93	-52.05	-0.500	-0.300
6	2 - C	163	-67.22	-41.93	-0.500	-0.300
7	3 - A	6	-92.91	-52.22	-0.700	-0.400
8	3 - B	115	-89.71	-49.12	-0.500	-0.300
9	3 - C	169	-58.32	-37.61	-0.400	-0.300
10	4 - A	61	-125.59	-67.60	-0.500	-0.300
11	4 - B	127	-109.49	-58.20	-0.600	-0.300
12	4 - C	175	-84.24	-46.29	-0.400	-0.200
13	5 - A	67	-125.00	-69.11	-0.500	-0.300
14	5 - B	133	-117.09	-66.00	-0.700	-0.400
15	5 - C	181	-89.59	-52.82	-0.400	-0.200
16	6 - A	73	-117.63	-67.33	-0.500	-0.300
17	6 - B	139	-106.31	-60.27	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-83.62	-52.97	-0.400	-0.200
19	7 - A	103	-77.19	-48.94	-0.300	-0.200
20	7 - B	151	-67.53	-42.63	-0.300	-0.200
21	7 - C	208	-44.10	-28.57	-0.200	-0.100
Máximo			-44.10	-28.57	-0.20	-0.10
Mínimo			-125.59	-69.11	-0.70	-0.40

Fuente: Propia

Tabla N° 116 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-151.79	-74.71	-0.500	-0.300
2	1 - B	109	-119.34	-67.66	-0.500	-0.200
3	1 - C	157	-119.08	-45.06	-0.900	-0.500
4	2 - A	5	-129.20	-67.64	-0.600	-0.400
5	2 - B	121	-107.73	-64.85	-0.700	-0.300
6	2 - C	163	-104.76	-45.02	-0.900	-0.400
7	3 - A	6	-123.71	-63.33	-0.500	-0.300
8	3 - B	115	-95.23	-54.63	-0.700	-0.300
9	3 - C	169	-95.96	-38.53	-0.700	-0.300
10	4 - A	61	-163.15	-81.43	-0.700	-0.400
11	4 - B	127	-124.18	-72.67	-0.500	-0.200
12	4 - C	175	-120.69	-54.24	-0.700	-0.300
13	5 - A	67	-165.03	-80.55	-0.800	-0.400
14	5 - B	133	-134.55	-75.64	-0.500	-0.200
15	5 - C	181	-123.87	-56.75	-0.700	-0.300
16	6 - A	73	-152.99	-79.81	-0.600	-0.400
17	6 - B	139	-109.44	-63.42	-0.500	-0.200
18	6 - C	187	-124.10	-55.12	-0.500	-0.200
19	7 - A	103	-121.84	-51.08	-0.400	-0.200
20	7 - B	151	-88.78	-48.40	-0.400	-0.100
21	7 - C	208	-82.59	-28.57	0.000	0.000
Máximo			-82.59	-28.57	0.00	0.00
Mínimo			-165.03	-81.43	-0.90	-0.50

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 115** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis el sistema puede no producen aplastamiento de 0.70 mm con una fuerza a compresión de 125.59 kN. De la misma forma, en la **Tabla N° 116** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a compresión de 165.03 kN con un aplastamiento de 0.90 mm.

4.1.5.2. Sistema LRB

a. Modos Fundamentales

El amortiguamiento efectivo obtenido de 12.79% para límite inferior y de 21.68% para límite superior en el sistema LRB, modifican los periodos de los modos fundamentales de vibración de la superestructura para cada caso.

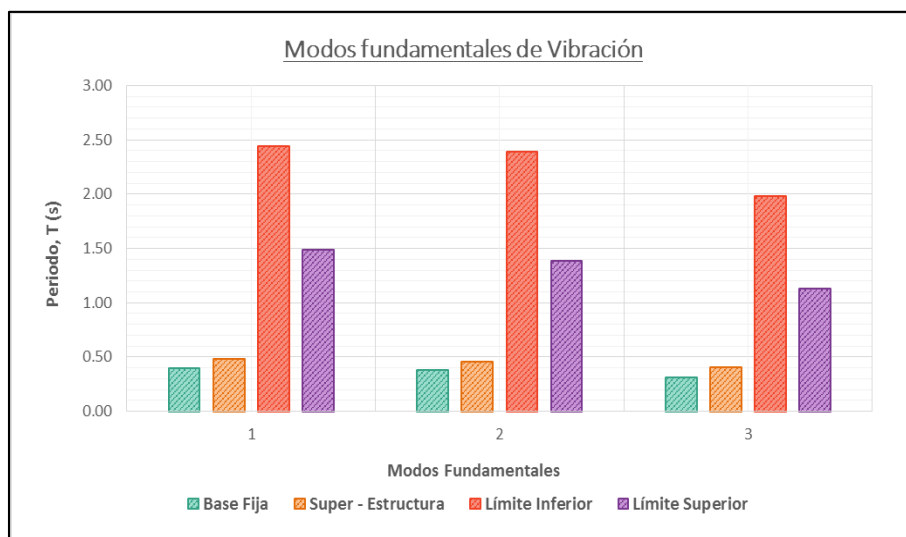
Tabla N° 117 – Modos de vibración del Sistema LRB

Periodos de los Modos Fundamentales				
Modo	Base Fija	Super Estructura	Límite Inferior	Límite Superior
1	0.401	0.482	2.442	1.486
2	0.379	0.453	2.394	1.385
3	0.310	0.410	1.983	1.131
4	0.156	0.204	0.330	0.322
5	0.152	0.183	0.314	0.306
6	0.127	0.163	0.280	0.274
7	0.099	0.137	0.194	0.194
8	0.097	0.128	0.176	0.175
9	0.085	0.122	0.157	0.157
10	0.077	0.079	0.127	0.127
11	0.077	0.078	0.119	0.119
12	0.077	0.077	0.116	0.116
13	0.076	0.077	0.078	0.078
14	0.076	0.076	0.077	0.077
15	0.075	0.076	0.077	0.077

Fuente: Propia

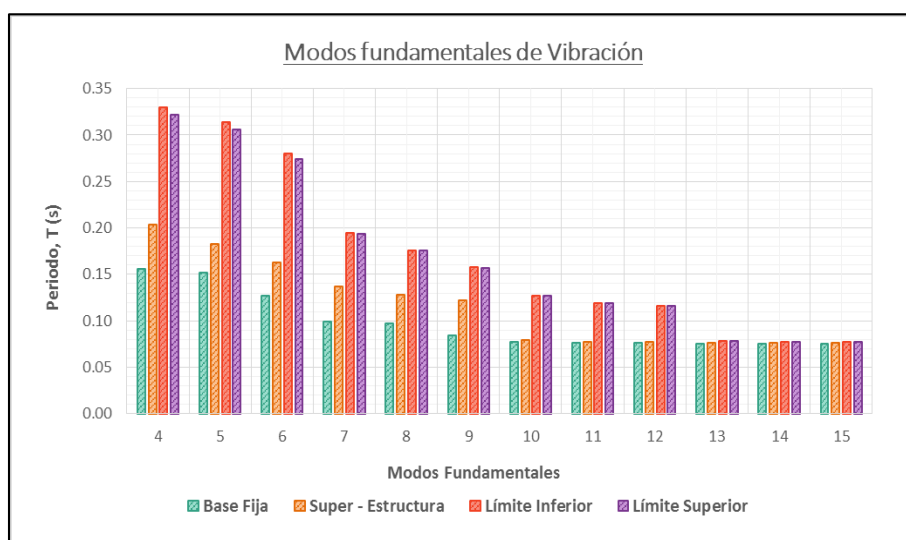
En la **Gráfica N° 24** se puede ver un comparativo de incrementos de los periodos en los modos fundamentales de vibración para LRB de la **Tablas N° 117**. Donde en el primer modo (modo 1) se dan los periodos más altos: 0.401 s en estructura convencional, 0.482 s en la superestructura, 2.442 s para el análisis del límite inferior y 1.486 s para el límite superior.

Gráfica N° 24 – Principales modos fundamentales de vibración del Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 25 – Comparación de los modos fundamentales de vibración del Sistema LRB

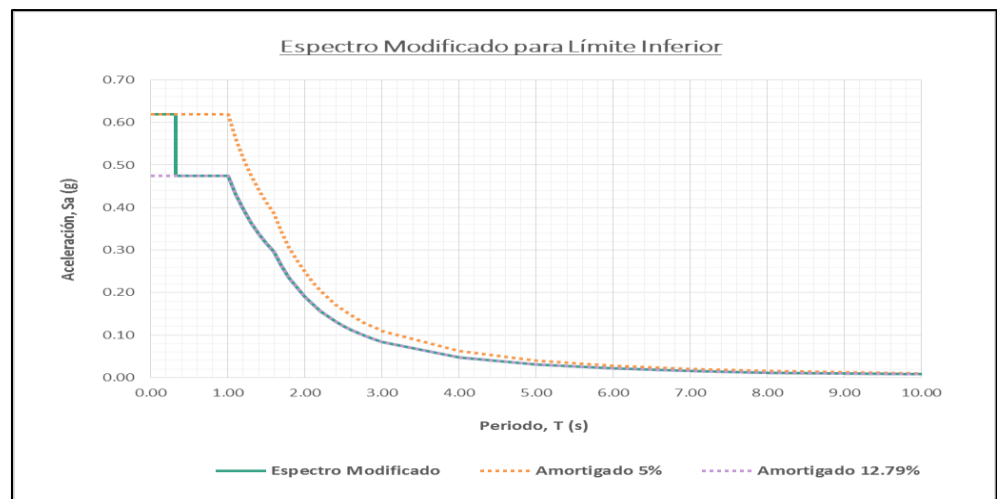


Fuente: Propia

b. Espectro Modificado de Diseño

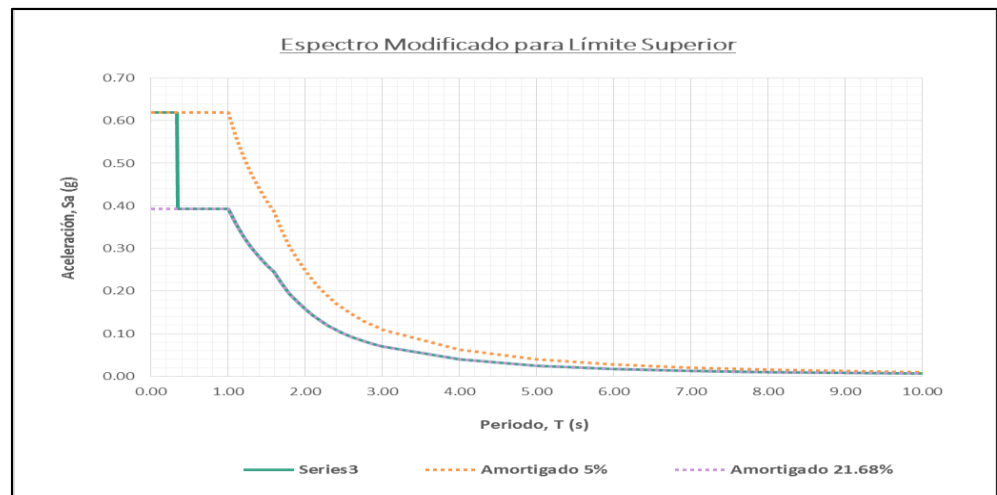
Las **Gráfica N° 26** y **Gráfica N° 27** presentan la variación del espectro de respuesta para $R=2$ por la implementación del sistema de aislación LRB. Donde, el espectro comienza con las aceleraciones para un amortiguamiento de 5% y se reducen aun amortiguamiento de 12.79% (Límite inferior) y de 21.68% (Límite inferior).

Gráfica N° 26 – Espectro modificado del límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 27 - Espectro modificado del límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

c. **Desplazamientos**

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema LRB como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 118 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1310	0.2620	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1315	0.2630	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1345	0.2690	0.0060	0.0015	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1361	0.2722	0.0032	0.0011	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1375	0.2750	0.0028	0.0011	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1377	0.2754	0.0004	0.0002	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1375	0.2750	-0.0004	-0.0002	0.015	Cumple

Fuente: Propia

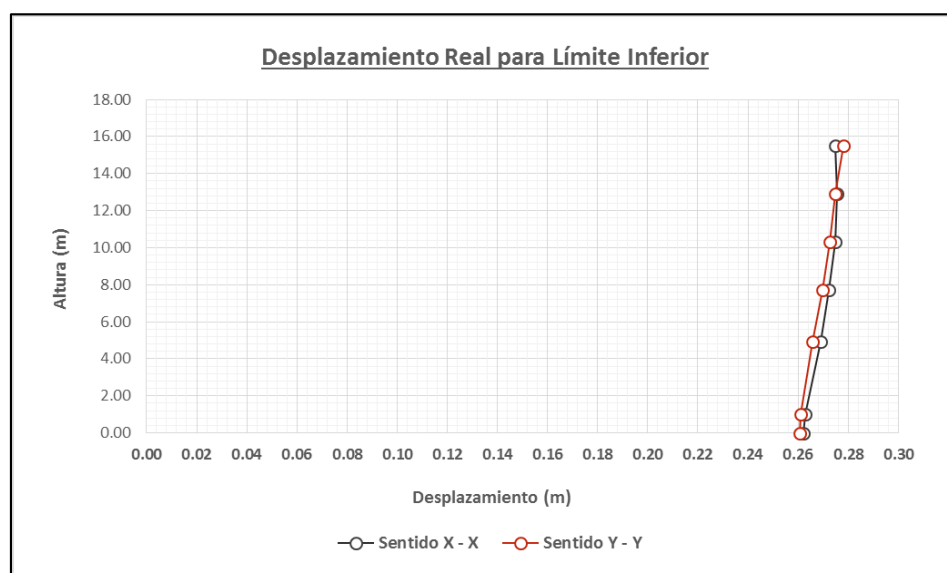
Tabla N° 119 - Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1303	0.2606	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1306	0.2612	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1328	0.2656	0.0044	0.0011	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1349	0.2698	0.0042	0.0015	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1364	0.2728	0.0030	0.0012	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1375	0.2750	0.0022	0.0008	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1390	0.2780	0.0030	0.0012	0.015	Cumple

Fuente: Propia

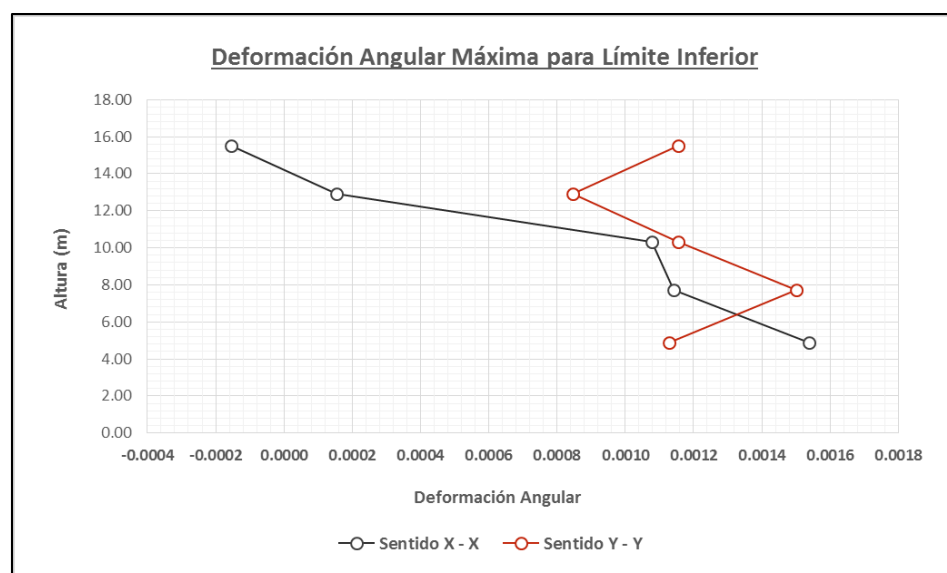
Límite inferior. Las **Gráfica N° 28** y **Gráfica N° 29** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2620 m y deriva máxima de 0.0015 en el primer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.2606 m y una deriva máxima de 0.0015 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 28 – Desplazamiento de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 29 – Derivas de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas de las propiedades del límite superior son mostrados en las **Tabla N° 120** y **Tabla N° 121**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 120 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1014	0.2028	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1023	0.2046	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1088	0.2176	0.0130	0.0033	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1128	0.2256	0.0080	0.0029	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1161	0.2322	0.0066	0.0025	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1172	0.2344	0.0022	0.0008	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1163	0.2326	-0.0018	-0.0007	0.015	Cumple

Fuente: Propia

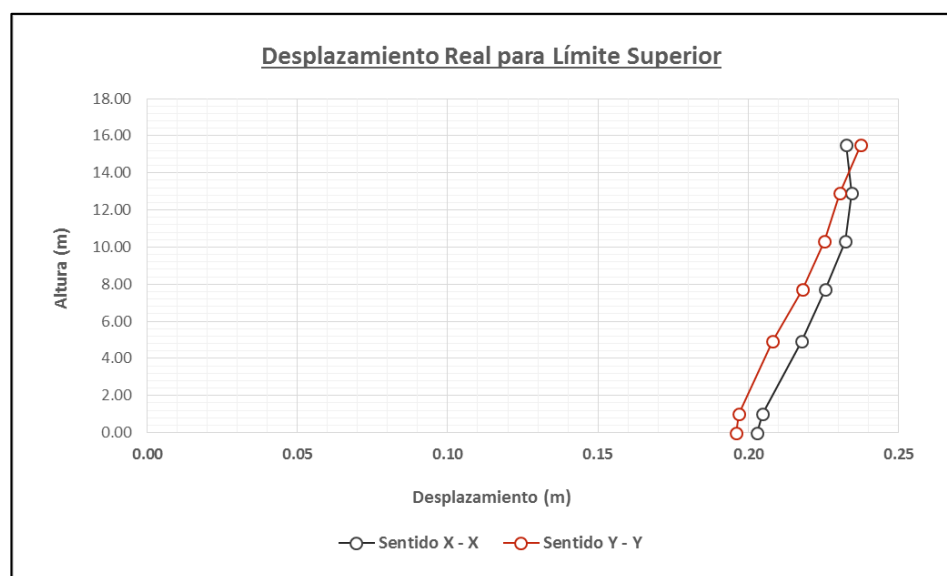
Tabla N° 121 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0979	0.1958	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0984	0.1968	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1040	0.2080	0.0112	0.0029	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1090	0.2180	0.0100	0.0036	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1127	0.2254	0.0074	0.0028	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1152	0.2304	0.0050	0.0019	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1187	0.2374	0.0070	0.0027	0.015	Cumple

Fuente: Propia

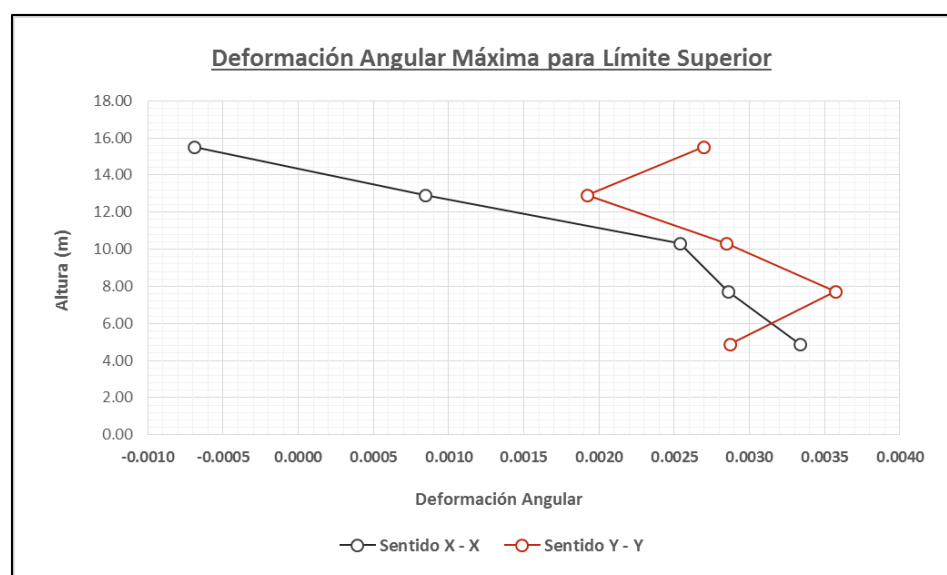
Límite superior. La **Gráfica N° 30** y **Gráfica N° 31** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2028 m y deriva máxima de 0.0033 en el primer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.1958 m y una deriva máxima de 0.0036 en el segundo entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 30 – Desplazamiento de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 31 – Derivas de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

d. **Fuerzas de Levantamiento**

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 122 - Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-1149.06	-708.10	-0.600	-0.400
2	1 - B	109	-1013.04	-589.76	-0.500	-0.300
3	1 - C	157	-797.27	-432.64	-0.400	-0.200
4	2 - A	5	-1113.70	-678.95	-0.600	-0.300
5	2 - B	121	-916.18	-517.84	-0.500	-0.300
6	2 - C	163	-821.10	-476.41	-0.400	-0.200
7	3 - A	6	-1065.25	-636.73	-0.500	-0.400
8	3 - B	115	-844.24	-468.47	-0.500	-0.400
9	3 - C	169	-728.40	-406.73	-0.400	-0.200
10	4 - A	61	-1238.38	-708.12	-0.600	-0.300
11	4 - B	127	-1132.68	-618.30	-0.700	-0.400
12	4 - C	175	-866.59	-499.91	-0.400	-0.200
13	5 - A	67	-1365.85	-801.54	-0.500	-0.300
14	5 - B	133	-1168.45	-675.38	-0.700	-0.400
15	5 - C	181	-991.12	-572.26	-0.400	-0.200
16	6 - A	73	-1267.31	-769.98	-0.500	-0.300
17	6 - B	139	-1026.60	-583.68	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-950.35	-548.30	-0.400	-0.200
19	7 - A	103	-884.52	-495.80	-0.300	-0.200
20	7 - B	151	-731.91	-480.22	-0.300	-0.200
21	7 - C	208	-542.20	-274.90	-0.200	-0.100
Máximo			-542.20	-274.90	-0.20	-0.10
Mínimo			-1365.85	-801.54	-0.70	-0.40

Fuente: Propia

Tabla N° 123 - Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-1360.77	-708.06	-0.700	-0.400
2	1 - B	109	-1135.89	-664.23	-0.600	-0.300
3	1 - C	157	-1036.78	-432.66	-0.500	-0.200
4	2 - A	5	-1286.12	-706.92	-0.600	-0.400
5	2 - B	121	-984.46	-586.12	-0.600	-0.300
6	2 - C	163	-1026.77	-476.43	-0.500	-0.200
7	3 - A	6	-1236.67	-665.15	-0.600	-0.300
8	3 - B	115	-877.13	-501.36	-0.500	-0.300
9	3 - C	169	-938.77	-406.76	-0.500	-0.200
10	4 - A	61	-1432.47	-742.36	-0.700	-0.400
11	4 - B	127	-1220.25	-705.97	-0.700	-0.400
12	4 - C	175	-1047.46	-499.90	-0.500	-0.200
13	5 - A	67	-1597.81	-812.42	-0.600	-0.300
14	5 - B	133	-1271.24	-730.53	-0.700	-0.400
15	5 - C	181	-1199.37	-572.20	-0.500	-0.200
16	6 - A	73	-1482.32	-789.54	-0.600	-0.300
17	6 - B	139	-1047.72	-604.83	-0.600	-0.400
18	6 - C	187	-1196.48	-548.31	-0.500	-0.200
19	7 - A	103	-1145.95	-495.80	-0.400	-0.200
20	7 - B	151	-851.54	-480.24	-0.300	-0.200
21	7 - C	208	-766.94	-274.92	-0.300	-0.100
Máximo			-766.94	-274.92	-0.30	-0.10
Mínimo			-1597.81	-812.42	-0.70	-0.40

Fuente: Propia

En la **Tabla N° 122** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis el sistema puede no producen aplastamiento de 0.70 mm con una fuerza a compresión de 1365.85 kN. De la misma forma, en la **Tablas N° 123** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a compresión de 1597.81 kN con un aplastamiento de 0.70 mm.

4.1.5.3. Sistema FPS

a. Modos Fundamentales

El amortiguamiento efectivo obtenido de 21.02% para límite inferior y de 41.28% para límite superior en el sistema FPS, modifican los periodos de los modos fundamentales de vibración de la superestructura para cada caso.

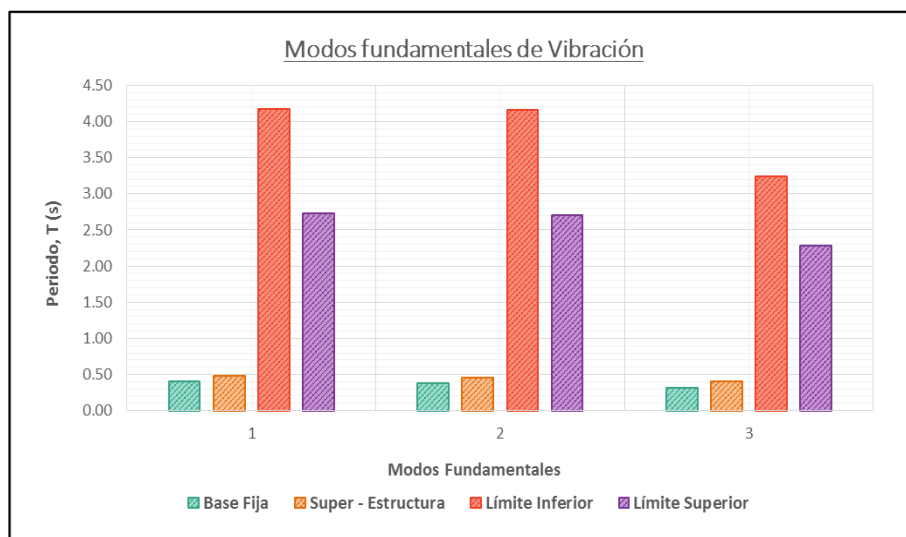
Tabla N° 124 - Modos de vibración del Sistema FPS

Periodos de los Modos Fundamentales				
Modo	Base Fija	Super Estructura	Límite Inferior	Límite Superior
1	0.401	0.482	4.172	2.725
2	0.379	0.453	4.157	2.710
3	0.310	0.410	3.244	2.281
4	0.156	0.204	0.331	0.329
5	0.152	0.183	0.311	0.309
6	0.127	0.163	0.278	0.277
7	0.099	0.137	0.194	0.194
8	0.097	0.128	0.176	0.175
9	0.085	0.122	0.157	0.157
10	0.077	0.079	0.127	0.127
11	0.077	0.078	0.119	0.119
12	0.077	0.077	0.116	0.116
13	0.076	0.077	0.078	0.078
14	0.076	0.076	0.077	0.077
15	0.075	0.076	0.077	0.077

Fuente: Propia

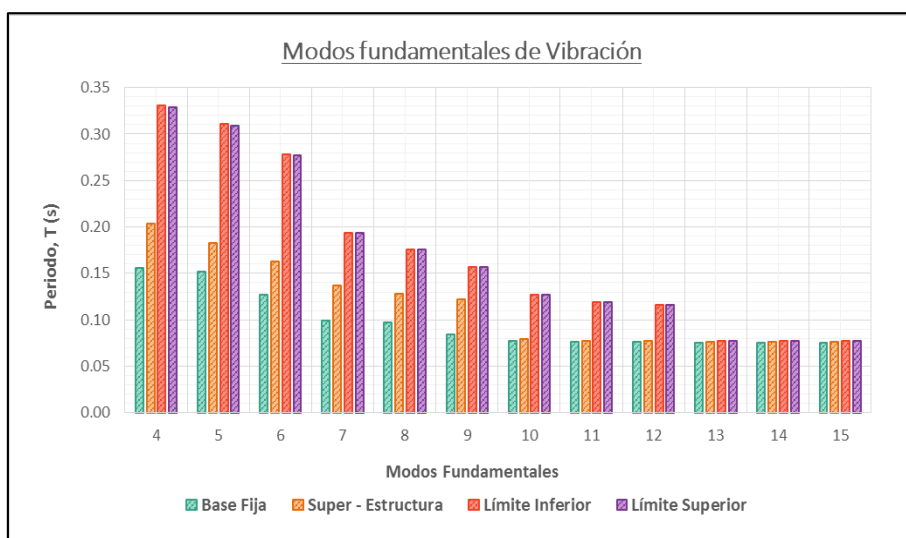
En la **Gráfica N° 32** se puede ver un comparativo de incrementos de los periodos en los modos fundamentales de vibración para FPS de la **Tablas N° 124**. Donde en el primer modo (modo 1) se dan los periodos más altos: 0.401 s en estructura convencional, 0.482 s en la superestructura, 4.172 s para el análisis del límite inferior y 2.725 s para el límite superior.

Gráfica N° 32 – Principales modos fundamentales de vibración del Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 33 - Comparación de los modos fundamentales de vibración del Sistema FPS

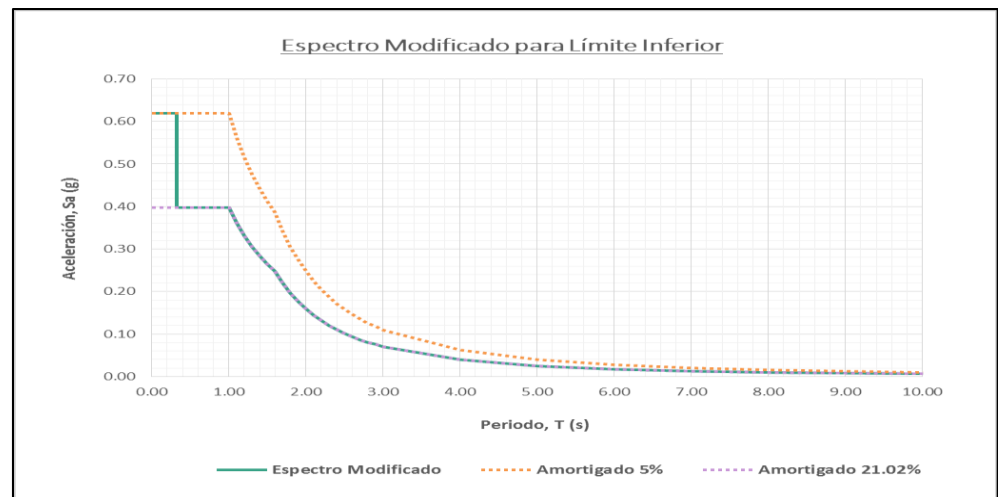


Fuente: Propia

b. Espectro Modificado de Diseño

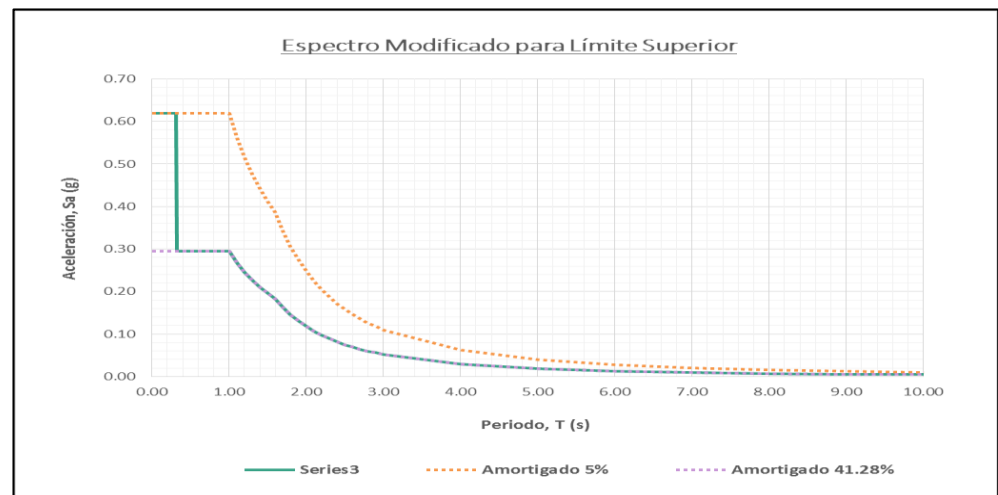
Las **Gráfica N° 34** y **Gráfica N° 35** presentan la variación del espectro de respuesta para $R=2$ por la implementación del sistema de aislación FPS. Donde, el espectro comienza con las aceleraciones para un amortiguamiento de 5% y se reducen aun amortiguamiento de 21.02% (Límite inferior) y de 41.28% (Límite superior).

Gráfica N° 34 – Espectro modificado del límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 35 - Espectro modificado del límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

c. **Desplazamientos**

Las fuerzas horizontales actuantes en la estructura producen desplazamientos tanto para sistema FPS como para cada entrepiso. Valor el cuál debe ser multiplicado por el factor de reducción $R=2$ antes de analizarlos. Así mismo, se debe comprobar que las derivas o deformaciones angulares resultantes sean menores a 0.015 para el análisis estático.

Tabla N° 125 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1222	0.2444	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1223	0.2446	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1236	0.2472	0.0026	0.0007	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1240	0.2480	0.0008	0.0003	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1244	0.2488	0.0008	0.0003	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1242	0.2484	-0.0004	-0.0002	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1256	0.2512	0.0028	0.0011	0.015	Cumple

Fuente: Propia

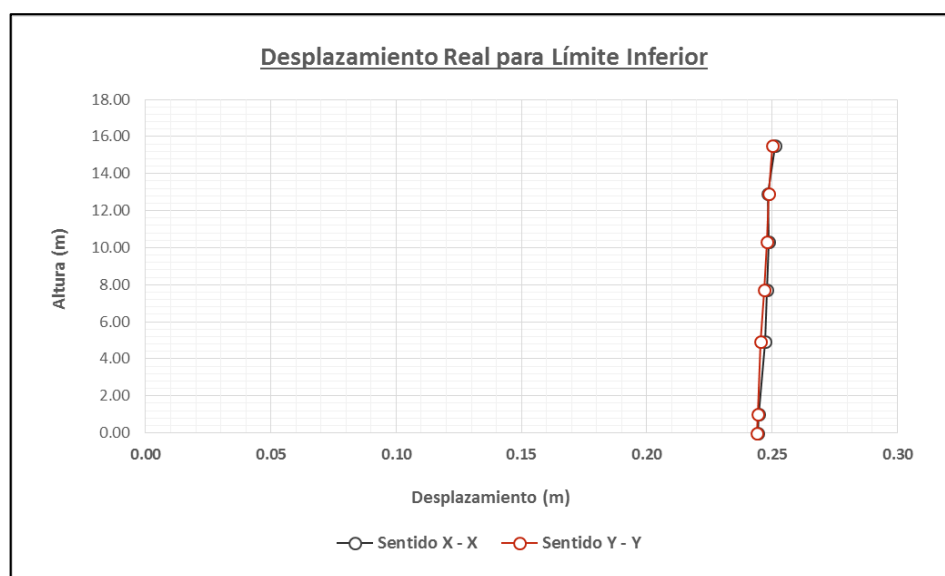
Tabla N° 126 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1220	0.2440	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1222	0.2444	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1228	0.2456	0.0012	0.0003	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1234	0.2468	0.0012	0.0004	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1239	0.2478	0.0010	0.0004	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1243	0.2486	0.0008	0.0003	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1250	0.2500	0.0014	0.0005	0.015	Cumple

Fuente: Propia

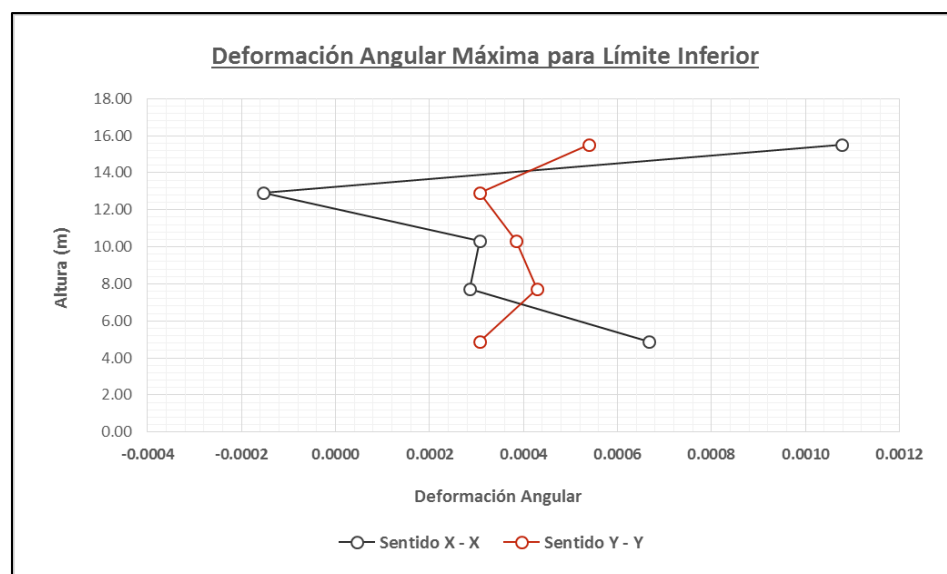
Límite inferior. Las **Gráfica N° 36** y **Gráfica N° 37** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2444 m y deriva máxima de 0.0011 en el quinto entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.2440 m y una deriva máxima de 0.0005 en el quinto entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 36 – Desplazamiento de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 37 – Derivas de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Los desplazamientos y derivas para las propiedades del límite superior son mostrados en las **Tabla N° 127** y **Tabla N° 128**. Se espera que tanto para las propiedades del límite inferior como para superior el valor de las derivas sean menores que el 0.015 para superestructuras en análisis estático.

Tabla N° 127 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido X - X								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δ_i	Δ_{MAX}	$\Delta_i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1210	0.2420	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1212	0.2424	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1234	0.2468	0.0044	0.0011	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1245	0.2490	0.0022	0.0008	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1254	0.2508	0.0018	0.0007	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1255	0.2510	0.0002	0.0001	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1275	0.2550	0.0040	0.0015	0.015	Cumple

Fuente: Propia

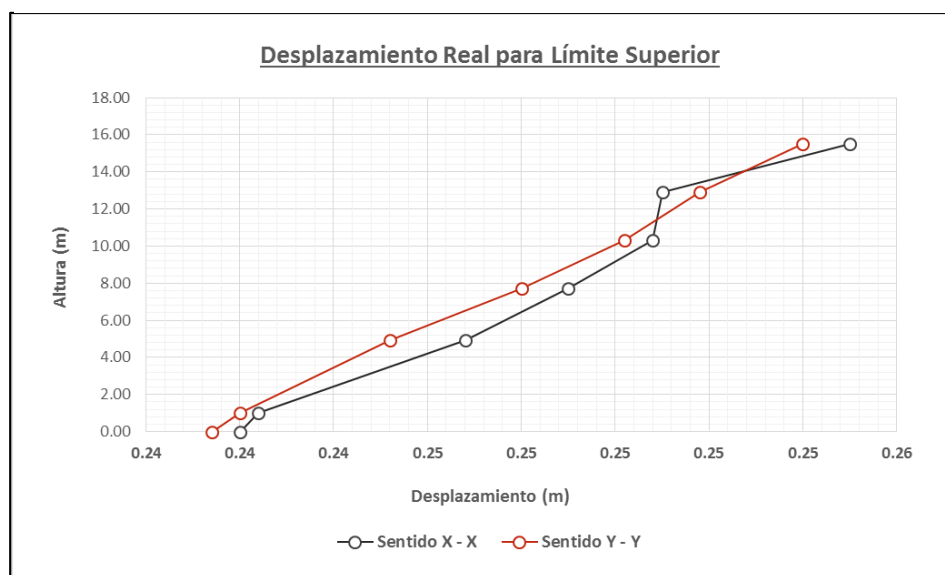
Tabla N° 128 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas Sentido Y - Y								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δ_i	Δ_{MAX}	$\Delta_i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1207	0.2414	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1210	0.2420	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1226	0.2452	0.0032	0.0008	0.015	Cumple
2	2.80	7.70	0.1240	0.2480	0.0028	0.0010	0.015	Cumple
3	2.60	10.30	0.1251	0.2502	0.0022	0.0008	0.015	Cumple
4	2.60	12.90	0.1259	0.2518	0.0016	0.0006	0.015	Cumple
5	2.60	15.50	0.1270	0.2540	0.0022	0.0008	0.015	Cumple

Fuente: Propia

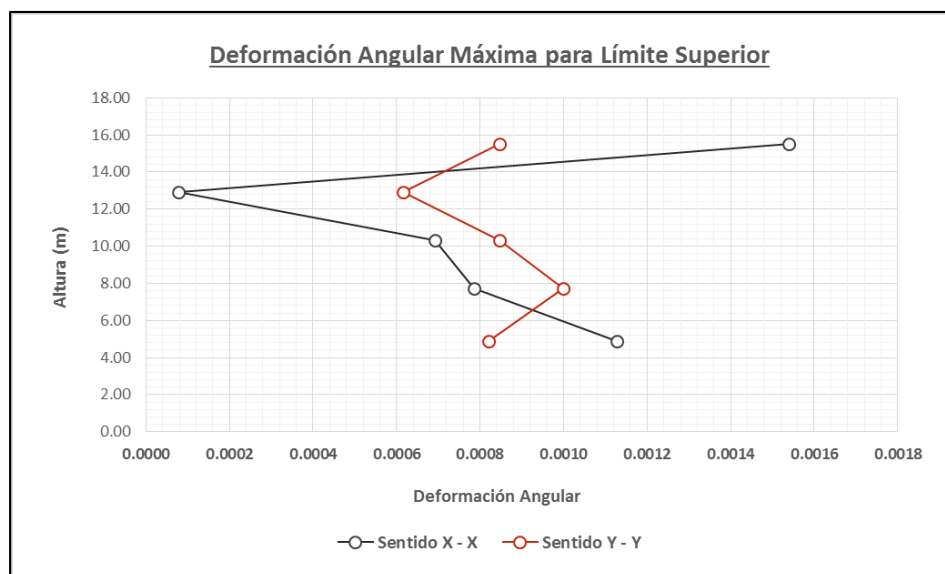
Límite superior. La **Gráfica N° 38** y **Gráfica N° 39** indican para el sentido X un desplazamiento en la base de 0.2420 m y deriva máxima de 0.0011 en el primer entrepiso. Asimismo para el sentido Y, se produce un desplazamiento en la base de 0.2414 m y una deriva máxima de 0.0008 en el quinto entrepiso. Ambas derivas son menores al límite máximo de 0.015.

Gráfica N° 38 – Desplazamiento de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 39 – Derivas de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

d. Fuerzas de Levantamiento

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 129 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-97.57	-56.33	0.000	0.000
2	1 - B	109	-108.82	-58.93	0.000	0.000
3	1 - C	157	-57.71	-35.81	0.000	0.000
4	2 - A	5	-109.50	-61.85	0.000	0.000
5	2 - B	121	-68.16	-36.70	-0.400	-0.200
6	2 - C	163	-81.35	-48.67	0.000	0.000
7	3 - A	6	-99.25	-54.71	0.000	0.000
8	3 - B	115	-72.42	-38.96	-0.400	-0.200
9	3 - C	169	-63.14	-40.43	0.000	0.000
10	4 - A	61	-123.08	-63.21	0.000	0.000
11	4 - B	127	-92.18	-47.50	-0.400	-0.300
12	4 - C	175	-86.63	-44.28	0.000	0.000
13	5 - A	67	-125.02	-66.14	0.000	0.000
14	5 - B	133	-97.19	-52.50	-0.500	-0.300
15	5 - C	181	-92.31	-51.77	0.000	0.000
16	6 - A	73	-122.95	-68.45	0.000	0.000
17	6 - B	139	-84.41	-46.36	-0.600	-0.300
18	6 - C	187	-90.42	-55.04	0.000	0.000
19	7 - A	103	-66.87	-41.76	0.000	0.000
20	7 - B	151	-76.94	-47.08	0.000	0.000
21	7 - C	208	-33.66	-23.22	0.000	0.000
Máximo			-33.66	-23.22	0.00	0.00
Mínimo			-125.02	-68.45	-0.60	-0.30

Fuente: Propia

Tabla N° 130 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-104.58	-63.34	0.000	0.000
2	1 - B	109	-113.40	-63.51	0.000	0.000
3	1 - C	157	-66.30	-38.52	0.000	0.000
4	2 - A	5	-115.46	-67.81	0.000	0.000
5	2 - B	121	-69.99	-38.53	-0.400	-0.200
6	2 - C	163	-88.59	-55.90	0.000	0.000
7	3 - A	6	-105.31	-60.76	0.000	0.000
8	3 - B	115	-73.73	-40.26	-0.400	-0.200
9	3 - C	169	-70.85	-43.99	0.000	0.000
10	4 - A	61	-130.57	-70.72	0.000	0.000
11	4 - B	127	-94.33	-49.67	-0.500	-0.300
12	4 - C	175	-92.77	-50.42	0.000	0.000
13	5 - A	67	-133.51	-74.64	0.000	0.000
14	5 - B	133	-99.55	-54.89	-0.600	-0.300
15	5 - C	181	-97.68	-57.16	0.000	0.000
16	6 - A	73	-129.24	-74.74	0.000	0.000
17	6 - B	139	-85.12	-47.08	-0.500	-0.300
18	6 - C	187	-97.87	-62.49	0.000	0.000
19	7 - A	103	-75.08	-46.14	0.000	0.000
20	7 - B	151	-80.66	-50.79	0.000	0.000
21	7 - C	208	-40.27	-23.22	0.000	0.000
Máximo			-40.27	-23.22	0.00	0.00
Mínimo			-133.51	-74.74	-0.60	-0.30

Fuente: Propia

El sistema FPS se caracteriza por no presentar deformaciones verticales por cargas de aplastamiento o levantamiento. Aun así, en las **Tabla N° 130** y **Tabla N° 131** se puede observar que el aplastamiento indicado corresponde a los deslizadores con un valor de 0.30 mm correspondiente a una fuerza de 125.02 kN (Límite inferior) y de 133.51 kN (Límite superior).

4.1.6. Análisis Espectro Tiempo – Historia

De la base de datos provista por el los datos del centro de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (CISMID), se tomó dos pares de registros (Sentido EW y NS) para los cinco sismos mostrados en las tablas siguientes, los cuales fueron seleccionados por ser de magnitud 5ML a más. Además estos registro fueron debidamente escalados de acuerdo a las aceleraciones de suelo de la zona 4 y suelo tipo S₃.

Para este tipo de análisis de espectro de registro Tiempo – Historia, las derivas producidas por los desplazamientos de entrepiso de dichos movimientos sísmicos deberán ser menor a 0.020.

Tabla N° 131 – Información del sismo de Moquegua (2005)

Registro Sísmico - Moquegua 2005		
Nombre de la estación	César Vizcarra Vargas	-
Código	MOQ001	-
Frecuencia de Muestreo	200	Hz
Fecha	13/06/2005	-
Hora de Origen	17:44:33	-
Latitud	-19.61	°
Longitud	-69.97	°
Profundidad	146	km
Magnitud	7.20	ML

Fuente: Propia

Tabla N° 132 – Información del sismo de Ica (2007)

Registro Sísmico - Ica 2007		
Nombre de la estación	UNICA	-
Código	ICA002	-
Frecuencia de Muestreo	100	Hz
Fecha	15/07/2007	-
Hora de Origen	18:40:58	-
Latitud	-13.67	°
Longitud	-76.76	°
Profundidad	40	km
Magnitud	7.00	ML

Fuente: Propia

Tabla N° 133 – Información del sismo de Lima (2013)

Registro Sísmico - Lima 2013		
Nombre de la estación	Villa El Salvador	-
Código	LIM007	-
Frecuencia de Muestreo	200	Hz
Fecha	25/11/2013	-
Hora de Origen	15:06:00	
Latitud	-12.77	°
Longitud	-76.48	°
Profundidad	59	km
Magnitud	5.80	ML

Fuente: Propia

Tabla N° 134 – Información del sismo de Pastaza (2019)

Registro Sísmico - Pastaza, Loreto 2019		
Nombre de la estación	SIQU	-
Código	LOR001	-
Frecuencia de Muestreo	200	Hz
Fecha	22/02/2019	-
Hora de Origen	05:17:00	
Latitud	-2.25	°
Longitud	-77.19	°
Profundidad	139	km
Magnitud	7.70	ML

Fuente: Propia

Tabla N° 135 - Información del sismo de Lagunas (2019)

Registro Sísmico - Lagunas, Loreto 2019		
Nombre de la estación	SIQU	-
Código	LOR001	-
Frecuencia de Muestreo	200	Hz
Fecha	26/05/2019	-
Hora de Origen	02:41:12	
Latitud	-5.70	°
Longitud	-75.27	°
Profundidad	141	km
Magnitud	7.20	ML

Fuente: Propia

4.1.6.1. Sistema HDRB

a. Desplazamientos

De las aceleraciones de espectro de respuesta tiempo – historia se obtienen los desplazamientos producidos por cada caso de sismo evaluado. Las tablas a continuación presentan el efecto de la componente EW (Sentido X) sobre el sistema de Aislación HDRB para el límite inferior.

Tabla N° 136 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3566	0.3566	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3578	0.3578	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3672	0.3672	0.0094	0.0024	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3732	0.3732	0.0060	0.0021	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3778	0.3778	0.0046	0.0018	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3784	0.3784	0.0006	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3758	0.3758	-0.0026	-0.0010	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 137 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.5120	0.5120	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.5141	0.5141	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.5287	0.5287	0.0146	0.0037	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.5380	0.5380	0.0093	0.0033	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.5453	0.5453	0.0073	0.0028	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.5465	0.5465	0.0012	0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.5426	0.5426	-0.0039	-0.0015	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 138 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1524	0.1524	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1533	0.1533	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1579	0.1579	0.0046	0.0012	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1598	0.1598	0.0019	0.0007	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1613	0.1613	0.0015	0.0006	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1604	0.1604	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1566	0.1566	-0.0038	-0.0015	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 139 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	-0.2710	-0.2710	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	-0.2727	-0.2727	-	-	-	-
1	3.90	4.90	-0.2874	-0.2874	-0.0147	-0.0038	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	-0.2981	-0.2981	-0.0107	-0.0038	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	-0.3068	-0.3068	-0.0087	-0.0033	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	-0.3096	-0.3096	-0.0028	-0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	-0.3105	-0.3105	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 140 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2948	0.2948	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2963	0.2963	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3066	0.3066	0.0103	0.0026	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3132	0.3132	0.0066	0.0024	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3185	0.3185	0.0053	0.0020	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3197	0.3197	0.0012	0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3179	0.3179	-0.0018	-0.0007	0.020	Cumple

Fuente: Propia

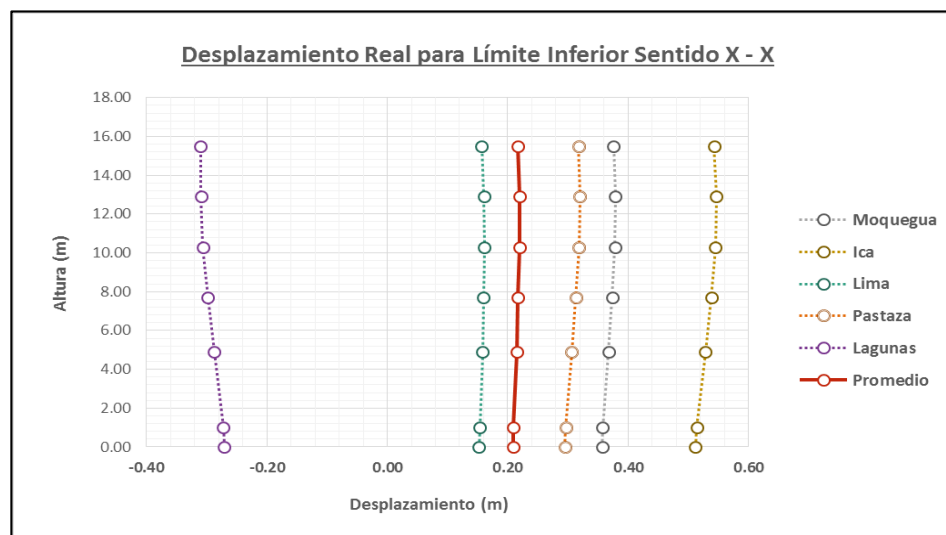
Tabla N° 141 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2090	0.2090	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2098	0.2098	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2146	0.2146	0.0048	0.0012	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2172	0.2172	0.0026	0.0009	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2192	0.2192	0.0020	0.0008	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2191	0.2191	-0.0001	-0.0001	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2165	0.2165	-0.0026	-0.0010	0.020	Cumple

Fuente: Propia

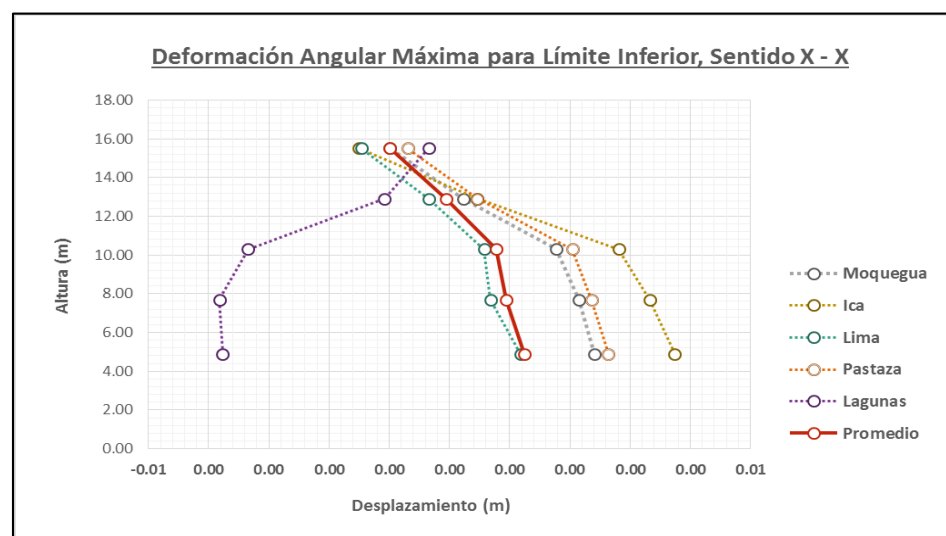
Los desplazamiento en base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales, el máximo desplazamiento en base es de 0.5120 m para el sismo de Ica (2007) y el menor es 0.1524 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0038 en el segundo entrepiso provocada por el sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 40 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 41 – Derivas sentido X de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó el promedio representativo indicado en **Tabla N° 141** con el desplazamiento en base de 0.2090 m y deriva máxima de 0.0012 en el primer entrepiso. Adicionalmente, el desplazamiento en base relacionado al sismo de Lagunas (2010) se mueve en el sentido contrario a los demás.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento HDRB están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 142 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4279	0.4279	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4298	0.4298	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4368	0.4368	0.0070	0.0018	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4446	0.4446	0.0078	0.0028	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4502	0.4502	0.0056	0.0022	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4528	0.4528	0.0026	0.0010	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4618	0.4618	0.0090	0.0035	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 143 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.5438	0.5438	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.5459	0.5459	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.5555	0.5555	0.0096	0.0025	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.5655	0.5655	0.0100	0.0036	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.5728	0.5728	0.0073	0.0028	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.5766	0.5766	0.0038	0.0015	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.5874	0.5874	0.0108	0.0042	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 144 – Desplazamiento sentido Y en Lima de Límite Inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1310	0.1310	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1307	0.1307	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1348	0.1348	0.0041	0.0011	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1383	0.1383	0.0035	0.0013	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1409	0.1409	0.0026	0.0010	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1427	0.1427	0.0018	0.0007	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1445	0.1445	0.0018	0.0007	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 145 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3411	0.3411	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3404	0.3404	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3494	0.3494	0.0090	0.0023	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3566	0.3566	0.0072	0.0026	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3616	0.3616	0.0050	0.0019	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3650	0.3650	0.0034	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3666	0.3666	0.0016	0.0006	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 146 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	-0.2710	-0.2710	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	-0.2727	-0.2727	-	-	-	-
1	3.90	4.90	-0.2874	-0.2874	-0.0147	-0.0038	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	-0.2981	-0.2981	-0.0107	-0.0038	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	-0.3068	-0.3068	-0.0087	-0.0033	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	-0.3096	-0.3096	-0.0028	-0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	-0.3105	-0.3105	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

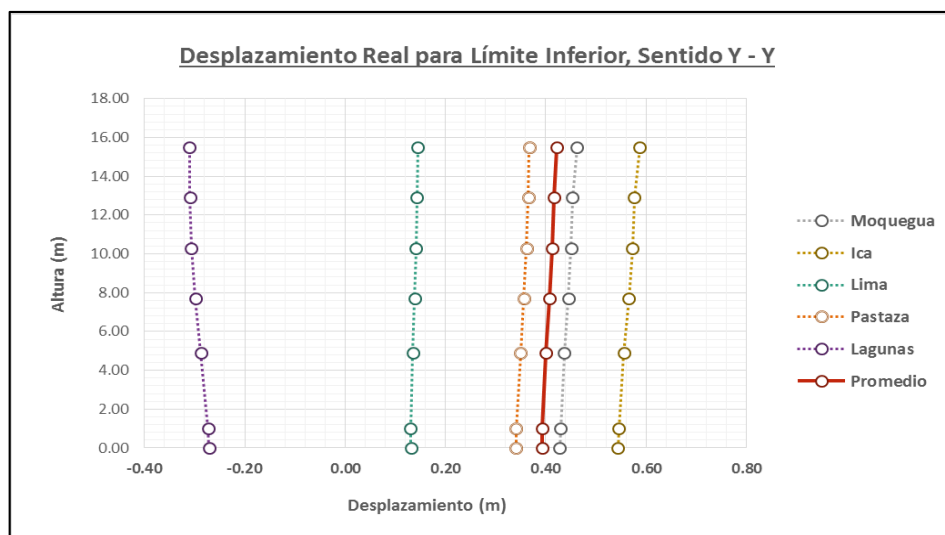
Tabla N° 147 – Desplazamiento Promedio sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3923	0.3923	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3934	0.3934	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4008	0.4008	0.0074	0.0019	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4080	0.4080	0.0073	0.0026	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4132	0.4132	0.0052	0.0020	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4161	0.4161	0.0029	0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4226	0.4226	0.0065	0.0025	0.020	Cumple

Fuente: Propia

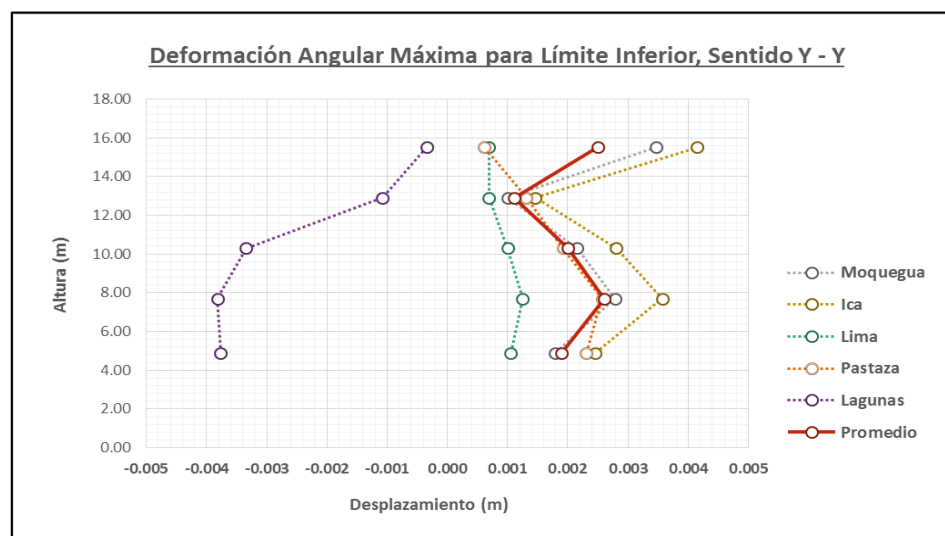
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.5438 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.1310 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0038, en el segundo y tercer entrepiso, del sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 42 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 43 – Derivas sentido Y de límite inferior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 147** con el desplazamiento en base de 0.3923 m y deriva máxima de 0.0026 en el segundo entrepiso. Adicionalmente, el desplazamiento en base relacionado al sismo de Lagunas (2010) se mueve en el sentido contrario a los demás, más su derivas siguen la tendencia.

En el límite superior, los desplazamientos y derivas para el sentido EW (Sentido X) de cada registro sísmico empleado está indicado en las tablas a continuación. Siendo tomados desde la base aislamiento hasta el entrepiso de nivel más alto.

Tabla N° 148 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0915	0.0915	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0921	0.0921	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0986	0.0986	0.0065	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1032	0.1032	0.0046	0.0016	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1068	0.1068	0.0036	0.0014	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1086	0.1086	0.0018	0.0007	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1097	0.1097	0.0011	0.0004	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 149 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2615	0.2615	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2630	0.2630	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2794	0.2794	0.0164	0.0042	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2921	0.2921	0.0127	0.0045	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3033	0.3033	0.0112	0.0043	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3101	0.3101	0.0068	0.0026	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3173	0.3173	0.0072	0.0028	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 150 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2839	0.2839	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2855	0.2855	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3017	0.3017	0.0162	0.0042	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3137	0.3137	0.0120	0.0043	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3243	0.3243	0.0106	0.0041	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3304	0.3304	0.0061	0.0023	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3351	0.3351	0.0047	0.0018	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 151 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1842	0.1842	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1852	0.1852	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1959	0.1959	0.0107	0.0027	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2036	0.2036	0.0077	0.0028	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2098	0.2098	0.0062	0.0024	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2132	0.2132	0.0034	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2155	0.2155	0.0023	0.0009	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 152 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3350	0.3350	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3368	0.3368	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3561	0.3561	0.0193	0.0049	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3713	0.3713	0.0152	0.0054	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3850	0.3850	0.0137	0.0053	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3936	0.3936	0.0086	0.0033	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4024	0.4024	0.0088	0.0034	0.020	Cumple

Fuente: Propia

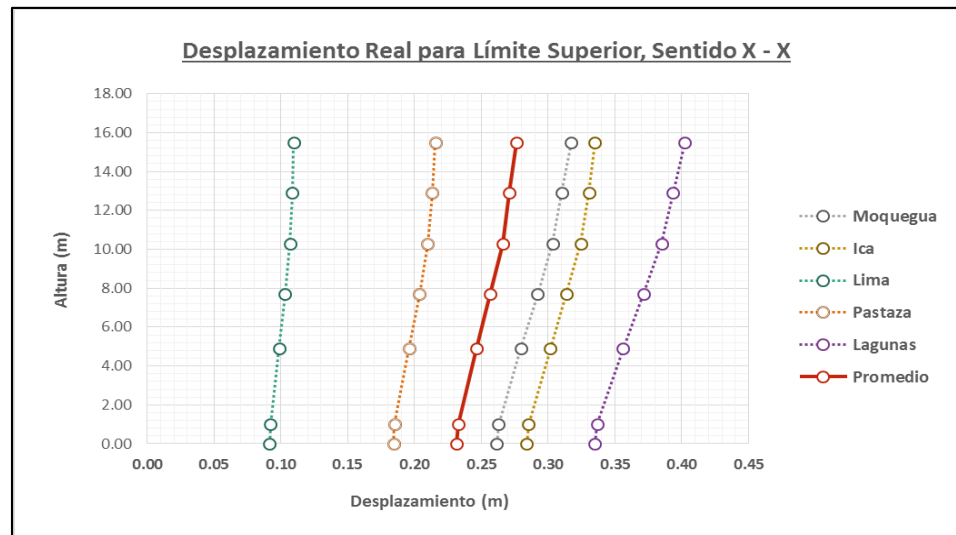
Tabla N° 153 – Desplazamiento promedio sentido X de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2312	0.2312	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2325	0.2325	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2463	0.2463	0.0138	0.0035	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2568	0.2568	0.0104	0.0037	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2658	0.2658	0.0091	0.0035	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2712	0.2712	0.0053	0.0021	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2760	0.2760	0.0048	0.0019	0.020	Cumple

Fuente: Propia

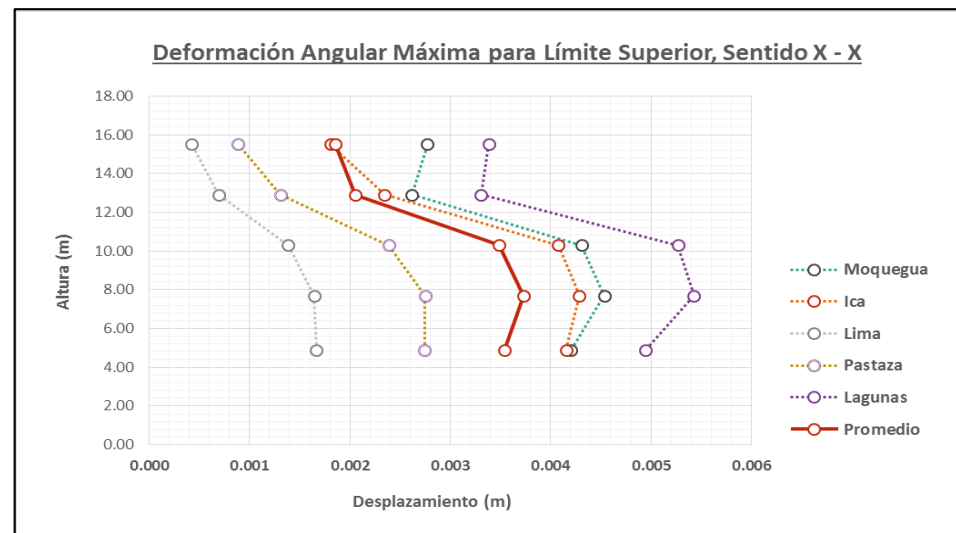
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.350 m producidos por el sismo de Lagunas (2019) y el menor 0.0915 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0054, en el segundo entrepiso, del sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 44 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 45 – Derivas sentido X de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 153** con el desplazamiento en base de 0.2312 m y deriva máxima de 0.0037 en el primer entrepiso.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento HDRB están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 154 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2470	0.2470	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2482	0.2482	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2620	0.2620	0.0138	0.0035	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2739	0.2739	0.0119	0.0042	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2831	0.2831	0.0092	0.0035	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2889	0.2889	0.0058	0.0022	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2988	0.2988	0.0099	0.0038	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 155 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2307	0.2307	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2314	0.2314	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2429	0.2429	0.0115	0.0029	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2526	0.2526	0.0097	0.0035	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2606	0.2606	0.0080	0.0031	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2659	0.2659	0.0053	0.0020	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2751	0.2751	0.0092	0.0035	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 156 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1036	0.1036	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1041	0.1041	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1108	0.1108	0.0067	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1177	0.1177	0.0069	0.0025	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1241	0.1241	0.0064	0.0025	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1286	0.1286	0.0045	0.0017	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1376	0.1376	0.0090	0.0035	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 157 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1377	0.1377	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1387	0.1387	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1454	0.1454	0.0067	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1512	0.1512	0.0058	0.0021	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1554	0.1554	0.0042	0.0016	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1617	0.1617	0.0063	0.0024	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1722	0.1722	0.0105	0.0040	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 158 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2338	0.2338	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2352	0.2352	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2497	0.2497	0.0145	0.0037	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2627	0.2627	0.0130	0.0046	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2729	0.2729	0.0102	0.0039	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2793	0.2793	0.0064	0.0025	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2908	0.2908	0.0115	0.0044	0.020	Cumple

Fuente: Propia

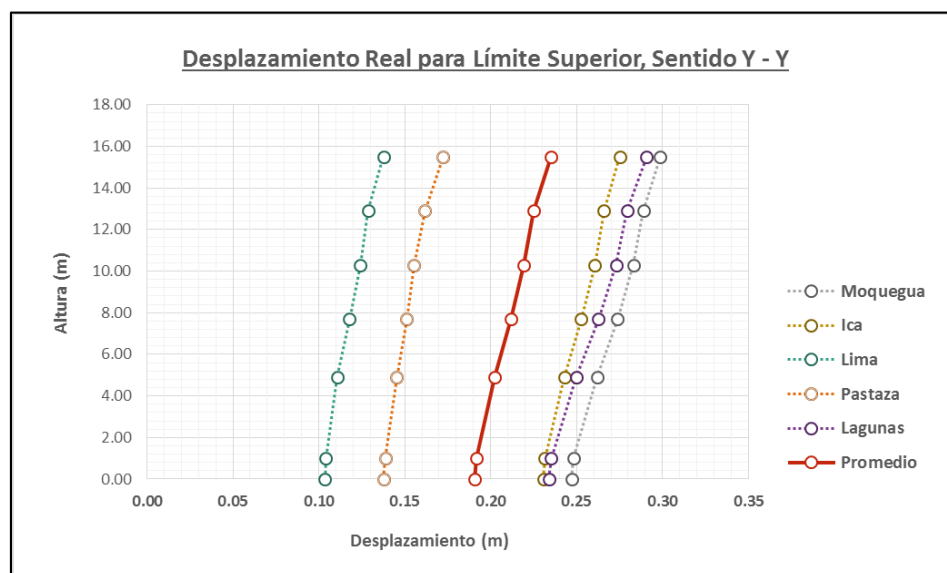
Tabla N° 159 – Desplazamiento Promedio sentido Y de Límite Superior para Sistema HDRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1906	0.1906	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1915	0.1915	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2022	0.2022	0.0106	0.0027	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2116	0.2116	0.0095	0.0034	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2192	0.2192	0.0076	0.0029	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2249	0.2249	0.0057	0.0022	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2349	0.2349	0.0100	0.0039	0.020	Cumple

Fuente: Propia

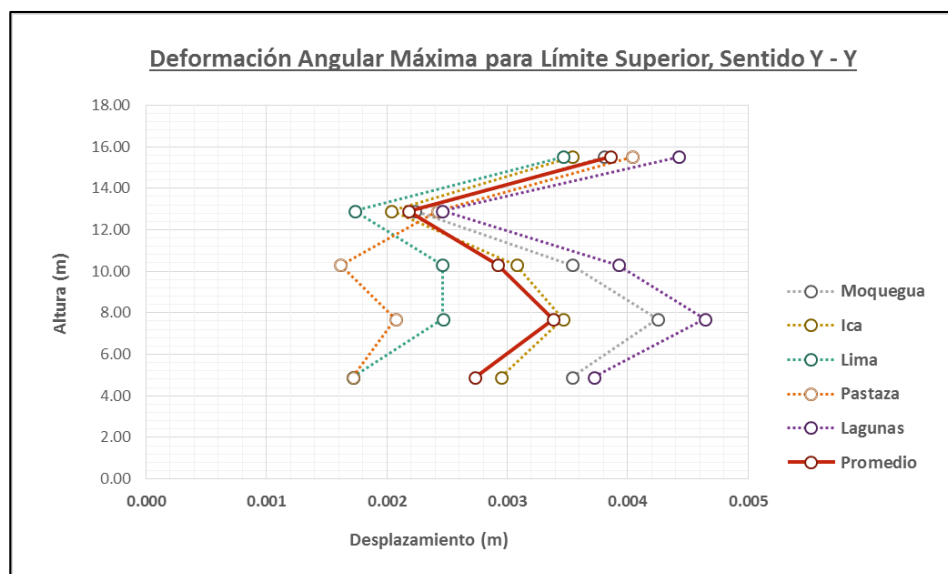
Los desplazamiento en la base y entresijos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.2470 m producidos por el sismo de Moquegua (2005) y el menor 0.1036 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0044, en el quinto entresijo, del sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 46 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 47 – Derivas sentido Y de límite superior para Sistema HDRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 159** con un desplazamiento en base de 0.1906 m y deriva máxima de 0.0039 en el quinto entrepiso.

b. Fuerzas de Levantamiento

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por aplastamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 160 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-187.49	-74.72	-0.800	-0.300
2	1 - B	109	-135.14	-63.09	-0.600	-0.300
3	1 - C	157	-188.96	-45.05	-0.800	-0.200
4	2 - A	5	-162.65	-67.65	-1.100	-0.500
5	2 - B	121	-115.79	-57.41	-0.700	-0.300
6	2 - C	163	-154.29	-45.02	-1.100	-0.300
7	3 - A	6	-166.45	-63.34	-1.200	-0.400
8	3 - B	115	-106.20	-49.00	-0.600	-0.300
9	3 - C	169	-136.66	-38.52	-1.000	-0.300
10	4 - A	61	-218.22	-71.38	-0.900	-0.300
11	4 - B	127	-153.20	-50.82	-0.900	-0.300
12	4 - C	175	-163.79	-54.24	-0.700	-0.300
13	5 - A	67	-247.39	-71.60	-1.100	-0.300
14	5 - B	133	-169.05	-61.23	-1.000	-0.400
15	5 - C	181	-166.86	-52.10	-0.700	-0.200
16	6 - A	73	-206.93	-71.71	-0.900	-0.300
17	6 - B	139	-126.08	-49.02	-0.700	-0.300
18	6 - C	187	-166.16	-55.11	-0.700	-0.200
19	7 - A	103	-178.76	-51.08	-0.800	-0.200
20	7 - B	151	-109.44	-48.39	-0.500	-0.200
21	7 - C	208	-106.83	-28.57	-0.400	-0.100
Máximo			-106.20	-28.57	-0.40	-0.10
Mínimo			-247.39	-74.72	-1.20	-0.50

Fuente: Propia

Tabla N° 161 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema HDRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-245.18	-74.71	-1.000	-0.300
2	1 - B	109	-166.45	-67.66	-0.700	-0.300
3	1 - C	157	-232.20	-45.06	-1.000	-0.200
4	2 - A	5	-206.27	-67.64	-1.500	-0.500
5	2 - B	121	-131.73	-65.23	-0.800	-0.400
6	2 - C	163	-202.62	-45.02	-1.400	-0.300
7	3 - A	6	-205.51	-63.33	-1.400	-0.400
8	3 - B	115	-109.16	-52.89	-0.600	-0.300
9	3 - C	169	-195.38	-38.53	-1.400	-0.300
10	4 - A	61	-276.50	-81.43	-1.200	-0.400
11	4 - B	127	-181.79	-66.97	-1.000	-0.400
12	4 - C	175	-236.45	-54.24	-1.000	-0.200
13	5 - A	67	-255.25	-80.55	-1.100	-0.300
14	5 - B	133	-190.19	-75.64	-1.100	-0.400
15	5 - C	181	-235.56	-56.75	-1.000	-0.200
16	6 - A	73	-242.35	-79.81	-1.000	-0.300
17	6 - B	139	-127.95	-55.00	-0.700	-0.300
18	6 - C	187	-239.16	-55.12	-1.000	-0.200
19	7 - A	103	-207.88	-51.08	-0.800	-0.200
20	7 - B	151	-134.74	-48.40	-0.600	-0.200
21	7 - C	208	-158.04	-28.57	-0.700	-0.100
Máximo			-109.16	-28.57	-0.60	-0.10
Mínimo			-276.50	-81.43	-1.50	-0.50

Fuente: Propia

Como se observa en la **Tabla N° 160** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis, el sistema produce aplastamiento de 1.20 mm con una fuerza a compresión de 247.39 kN. De la misma forma, en la **Tabla N° 161** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a compresión de 276.50 kN con un aplastamiento de 1.50 mm.

4.1.6.2. Sistema LRB

a. Desplazamientos

De las aceleraciones de espectro de respuesta tiempo – historia se obtienen los desplazamientos producidos por cada sismo evaluado. Las tablas a continuación presentan el efecto de la componente EW (Sentido X) sobre el sistema de Aislación LRB para el límite inferior.

Tabla N° 162 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3562	0.3562	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3558	0.3558	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3585	0.3585	0.0027	0.0007	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3624	0.3624	0.0039	0.0014	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3651	0.3651	0.0027	0.0010	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3686	0.3686	0.0035	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3762	0.3762	0.0076	0.0029	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 163 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4785	0.4785	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4800	0.4800	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4894	0.4894	0.0094	0.0024	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4949	0.4949	0.0055	0.0020	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4996	0.4996	0.0047	0.0018	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.5011	0.5011	0.0015	0.0006	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4994	0.4994	-0.0017	-0.0007	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 164 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1199	0.1199	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1203	0.1203	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1222	0.1222	0.0019	0.0005	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1230	0.1230	0.0008	0.0003	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1234	0.1234	0.0004	0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1230	0.1230	-0.0004	-0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1215	0.1215	-0.0015	-0.0006	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 165 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2768	0.2768	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2765	0.2765	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2787	0.2787	0.0022	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2821	0.2821	0.0034	0.0012	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2848	0.2848	0.0027	0.0010	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2882	0.2882	0.0034	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2961	0.2961	0.0079	0.0030	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 166 - Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3649	0.3649	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3659	0.3659	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3725	0.3725	0.0066	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3673	0.3673	-0.0052	-0.0019	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3794	0.3794	0.0121	0.0047	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3804	0.3804	0.0010	0.0004	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3795	0.3795	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

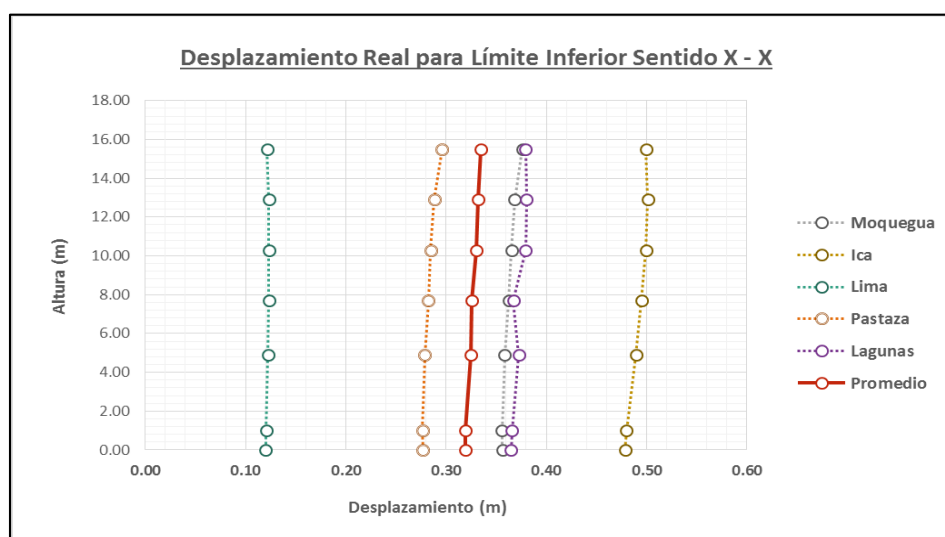
Tabla N° 167 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3193	0.3193	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3197	0.3197	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3243	0.3243	0.0046	0.0012	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3259	0.3259	0.0017	0.0006	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3305	0.3305	0.0045	0.0017	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3323	0.3323	0.0018	0.0007	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3345	0.3345	0.0023	0.0009	0.020	Cumple

Fuente: Propia

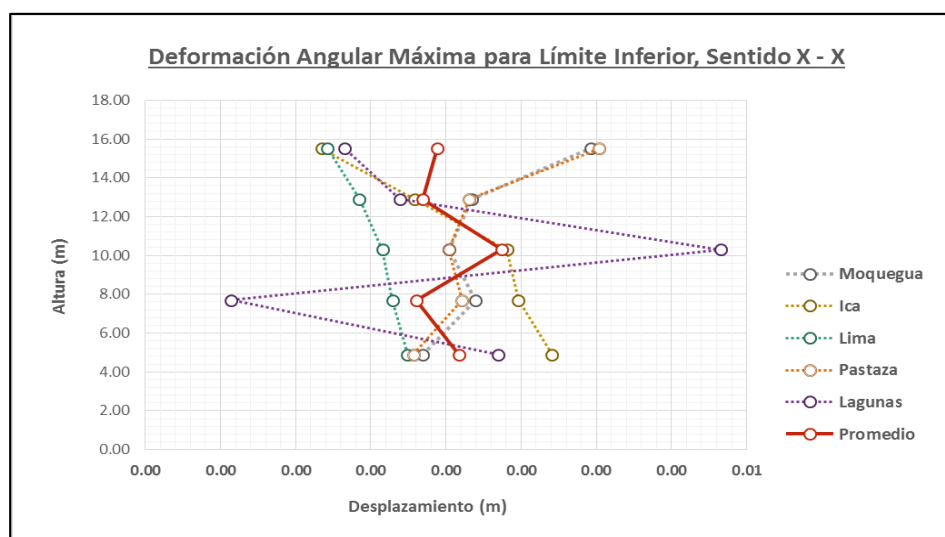
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.4785 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.1199 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0030 en el quinto entrepiso, del sismo de Pastaza 2019).

Gráfica N° 48 – Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 49 – Derivas sentido X de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 167** con un desplazamiento en base de 0.3193 m y deriva máxima de 0.0017 en el tercer entrepiso.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento LRB están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 168 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3848	0.3848	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3860	0.3860	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3900	0.3900	0.0040	0.0010	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3939	0.3939	0.0039	0.0014	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3966	0.3966	0.0027	0.0010	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3976	0.3976	0.0010	0.0004	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4016	0.4016	0.0040	0.0015	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 169 - Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4008	0.4008	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4058	0.4058	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4063	0.4063	0.0005	0.0001	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4110	0.4110	0.0047	0.0017	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4146	0.4146	0.0036	0.0014	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4150	0.4150	0.0004	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4297	0.4297	0.0147	0.0057	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 170 - Desplazamiento sentido Y en Lima de Límite Inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1379	0.1379	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1377	0.1377	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1400	0.1400	0.0023	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1417	0.1417	0.0017	0.0006	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1429	0.1429	0.0012	0.0005	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1435	0.1435	0.0006	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1436	0.1436	0.0001	0.0000	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 171 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3460	0.3460	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3457	0.3457	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3525	0.3525	0.0068	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3578	0.3578	0.0053	0.0019	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3619	0.3619	0.0041	0.0016	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3639	0.3639	0.0020	0.0008	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3672	0.3672	0.0033	0.0013	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 172 - Desplazamiento sentido Y en Lagunas de Límite Inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3649	0.3649	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3659	0.3659	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3725	0.3725	0.0066	0.0017	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3673	0.3673	-0.0052	-0.0019	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3794	0.3794	0.0121	0.0047	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3804	0.3804	0.0010	0.0004	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3795	0.3795	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

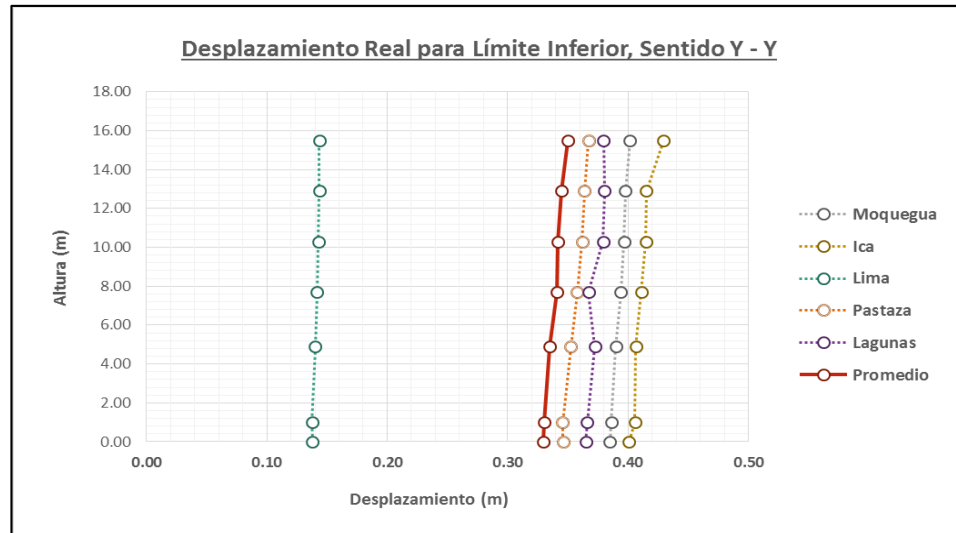
Tabla N° 173 – Desplazamiento Promedio sentido Y de Límite Inferior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3295	0.3295	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3307	0.3307	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3350	0.3350	0.0043	0.0011	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3408	0.3408	0.0058	0.0021	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3416	0.3416	0.0008	0.0003	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3445	0.3445	0.0029	0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3502	0.3502	0.0057	0.0022	0.020	Cumple

Fuente: Propia

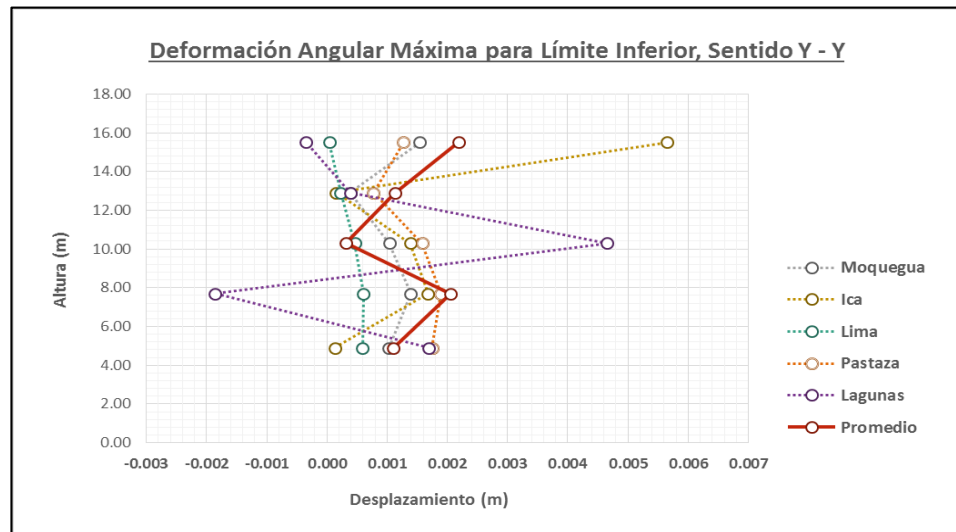
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.4008 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.1379 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0057, en el quinto entrepiso, del sismo de Ica (2007).

Gráfica N° 50 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 51 – Derivas sentido Y de límite inferior para Sistema LRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 173** con un desplazamiento en base de 0.3295 m y deriva máxima de 0.0022 en el quinto entrepiso.

En el límite superior, los desplazamientos y derivas para el sentido EW (Sentido X) de cada registro sísmico empleado está indicado en las tablas a continuación. Siendo tomados desde la base aislamiento hasta el entrepiso de nivel más alto.

Tabla N° 174 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1719	0.1719	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1730	0.1730	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1837	0.1837	0.0107	0.0027	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1916	0.1916	0.0079	0.0028	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1978	0.1978	0.0062	0.0024	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2012	0.2012	0.0034	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2048	0.2048	0.0036	0.0014	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 175 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2134	0.2134	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2146	0.2146	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2257	0.2257	0.0111	0.0028	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2324	0.2324	0.0067	0.0024	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2393	0.2393	0.0069	0.0027	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2419	0.2419	0.0026	0.0010	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2427	0.2427	0.0008	0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 176 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0447	0.0447	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0451	0.0451	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0488	0.0488	0.0037	0.0009	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.0525	0.0525	0.0037	0.0013	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.0569	0.0569	0.0044	0.0017	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.0606	0.0606	0.0037	0.0014	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.0664	0.0664	0.0058	0.0022	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 177 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0893	0.0893	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0900	0.0900	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0960	0.0960	0.0060	0.0015	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1008	0.1008	0.0048	0.0017	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1054	0.1054	0.0046	0.0018	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1080	0.1080	0.0026	0.0010	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1110	0.1110	0.0030	0.0012	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 178 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2777	0.2777	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2794	0.2794	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2947	0.2947	0.0153	0.0039	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3067	0.3067	0.0120	0.0043	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3180	0.3180	0.0113	0.0043	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3253	0.3253	0.0073	0.0028	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3351	0.3351	0.0098	0.0038	0.020	Cumple

Fuente: Propia

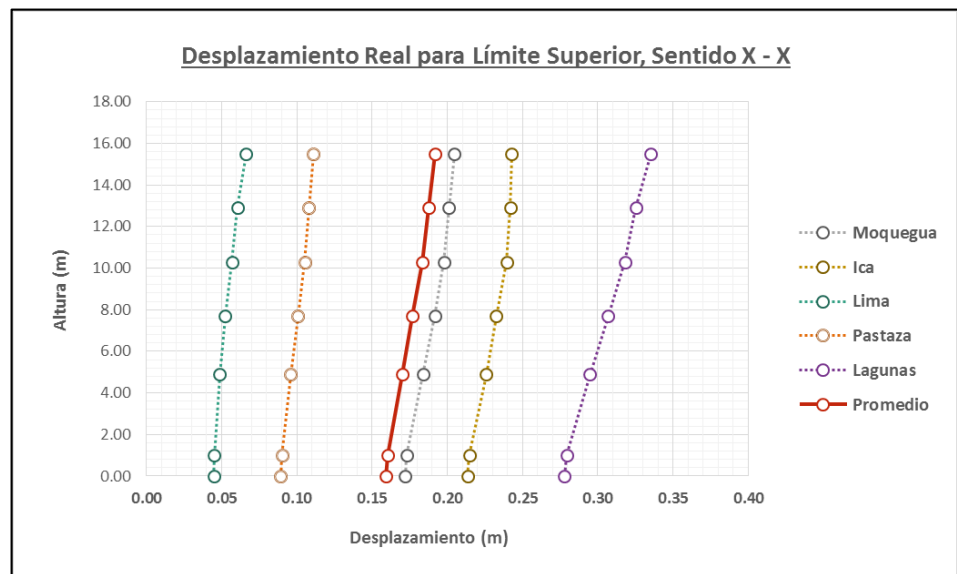
Tabla N° 179 – Desplazamiento promedio sentido X de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1594	0.1594	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1604	0.1604	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1698	0.1698	0.0094	0.0024	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1768	0.1768	0.0070	0.0025	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1835	0.1835	0.0067	0.0026	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1874	0.1874	0.0039	0.0015	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1920	0.1920	0.0046	0.0018	0.020	Cumple

Fuente: Propia

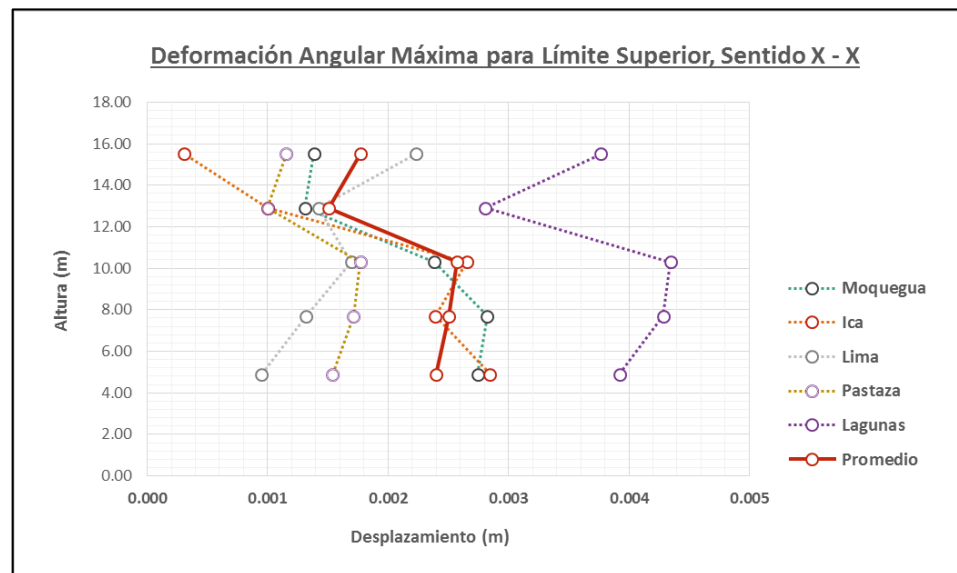
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.2777 m producidos por el sismo de Lagunas (2019) y el menor 0.0447 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0043, en el tercer y cuarto entrepiso, del sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 52 – Desplazamiento Sentido X de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 53 – Derivas sentido X de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas ante los sismos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 179** con un desplazamiento en base de 0.1594 m y deriva máxima de 0.0026 en el tercer entrepiso.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento LRB están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 180 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1163	0.1163	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1168	0.1168	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1253	0.1253	0.0085	0.0022	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1328	0.1328	0.0075	0.0027	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1384	0.1384	0.0056	0.0022	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1417	0.1417	0.0033	0.0013	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1476	0.1476	0.0059	0.0023	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 181 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	-0.1330	-0.1330	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	-0.1346	-0.1346	-	-	-	-
1	3.90	4.90	-0.1472	-0.1472	-0.0126	-0.0032	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	-0.1596	-0.1596	-0.0124	-0.0044	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	-0.1695	-0.1695	-0.0099	-0.0038	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	-0.1757	-0.1757	-0.0062	-0.0024	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	-0.1897	-0.1897	-0.0140	-0.0054	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 182 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0557	0.0557	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0557	0.0557	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0594	0.0594	0.0037	0.0009	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.0633	0.0633	0.0039	0.0014	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.0682	0.0682	0.0049	0.0019	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.0723	0.0723	0.0041	0.0016	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.0808	0.0808	0.0085	0.0033	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 183 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0715	0.0715	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0720	0.0720	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0782	0.0782	0.0062	0.0016	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.0840	0.0840	0.0058	0.0021	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.0883	0.0883	0.0043	0.0017	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.0911	0.0911	0.0028	0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.0974	0.0974	0.0063	0.0024	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 184 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.1168	0.1168	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.1174	0.1174	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.1245	0.1245	0.0071	0.0018	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.1304	0.1304	0.0059	0.0021	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.1342	0.1342	0.0038	0.0015	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.1364	0.1364	0.0022	0.0008	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.1426	0.1426	0.0062	0.0024	0.020	Cumple

Fuente: Propia

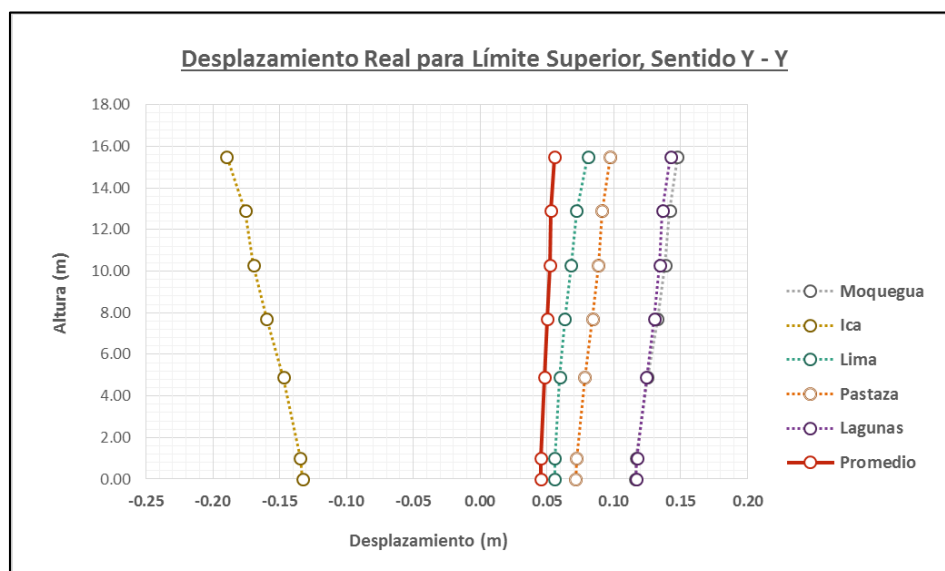
Tabla N° 185 – Desplazamiento Promedio sentido Y de límite superior para Sistema LRB

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.0455	0.0455	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.0455	0.0455	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.0480	0.0480	0.0026	0.0007	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.0502	0.0502	0.0021	0.0008	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.0519	0.0519	0.0017	0.0007	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.0532	0.0532	0.0012	0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.0557	0.0557	0.0026	0.0010	0.020	Cumple

Fuente: Propia

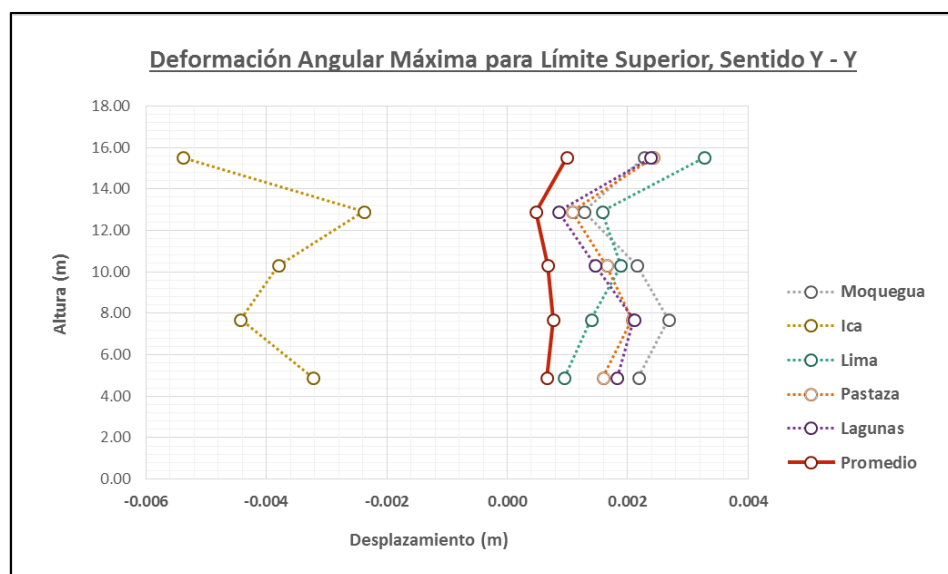
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.1330 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.0557 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0054 en el quinto entrepiso, del sismo de Ica (2007). Asimismo, cabe mencionar que el sismo de Ica para este caso se desplaza en el sentido opuesto a los demás.

Gráfica N° 54 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 55 – Derivas sentido Y de límite superior para Sistema LRB



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas de la edificación ante los movimientos sísmicos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 185** con un desplazamiento en base de 0.0455 m y deriva máxima de 0.0010 en el quinto entrepiso.

b. Fuerzas de Levantamiento

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por levantamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 186 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-1681.00	-707.63	-0.800	-0.400
2	1 - B	109	-1341.48	-597.40	-0.700	-0.300
3	1 - C	157	-1397.52	-432.17	-0.700	-0.200
4	2 - A	5	-1485.18	-647.09	-0.700	-0.300
5	2 - B	121	-1103.67	-520.32	-0.600	-0.300
6	2 - C	163	-1303.79	-476.00	-0.600	-0.200
7	3 - A	6	-1462.35	-621.57	-0.700	-0.300
8	3 - B	115	-944.13	-444.05	-0.600	-0.300
9	3 - C	169	-1118.45	-406.33	-0.600	-0.200
10	4 - A	61	-1897.14	-567.20	-0.900	-0.300
11	4 - B	127	-1510.53	-499.57	-0.900	-0.300
12	4 - C	175	-1285.84	-499.57	-0.600	-0.300
13	5 - A	67	-2077.09	-715.66	-0.800	-0.300
14	5 - B	133	-1541.70	-562.65	-0.700	-0.300
15	5 - C	181	-1501.61	-511.19	-0.600	-0.200
16	6 - A	73	-1749.10	-739.24	-0.500	-0.300
17	6 - B	139	-1177.86	-481.30	-0.700	-0.300
18	6 - C	187	-1421.99	-548.71	-0.500	-0.200
19	7 - A	103	-1455.26	-496.27	-0.600	-0.200
20	7 - B	151	-1027.91	-480.65	-0.400	-0.200
21	7 - C	208	-1074.85	-275.37	-0.400	-0.100
Máximo			-944.13	-275.37	-0.40	-0.10
Mínimo			-2077.09	-739.24	-0.90	-0.40

Fuente: Propia

Tabla N° 187 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema LRB

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-2120.02	-707.60	-1.100	-0.400
2	1 - B	109	-1474.65	-663.80	-0.700	-0.300
3	1 - C	157	-2152.07	-432.19	-1.100	-0.200
4	2 - A	5	-2088.39	-706.50	-1.000	-0.400
5	2 - B	121	-1155.75	-580.51	-0.700	-0.300
6	2 - C	163	-2094.28	-476.03	-1.000	-0.200
7	3 - A	6	-2178.14	-664.73	-1.100	-0.300
8	3 - B	115	-1058.15	-510.38	-0.600	-0.300
9	3 - C	169	-2026.66	-406.36	-1.000	-0.200
10	4 - A	61	-2350.38	-742.02	-1.200	-0.400
11	4 - B	127	-1778.41	-692.35	-1.000	-0.400
12	4 - C	175	-2099.35	-499.55	-1.000	-0.200
13	5 - A	67	-2700.69	-812.77	-1.000	-0.300
14	5 - B	133	-1794.40	-705.47	-1.100	-0.400
15	5 - C	181	-2272.54	-572.55	-0.900	-0.200
16	6 - A	73	-2396.51	-789.97	-0.900	-0.300
17	6 - B	139	-1254.95	-520.29	-0.700	-0.300
18	6 - C	187	-2304.69	-548.72	-0.900	-0.200
19	7 - A	103	-2040.08	-496.26	-0.800	-0.200
20	7 - B	151	-1206.21	-480.67	-0.500	-0.200
21	7 - C	208	-1471.44	-275.38	-0.600	-0.100
Máximo			-1058.15	-275.38	-0.50	-0.10
Mínimo			-2700.69	-812.77	-1.20	-0.40

Fuente: Propia

Como se observa en la **Tabla N° 186** se muestra que en el límite inferior para los combos de análisis el sistema puede no producen aplastamiento de 0.90 mm con una fuerza a compresión de 2077.09 kN. De la misma forma, en **Tabla N° 187** del límite superior. Los combos de análisis presentan una máxima carga a compresión de 2700.69 kN con un aplastamiento de 1.20mm.

4.1.6.3. Sistema FPS

a. Desplazamientos

De las aceleraciones de espectro de respuesta tiempo – historia se obtienen los desplazamientos producidos por cada sismo evaluado. Las tablas a continuación presentan el efecto de la componente EW (Sentido X) sobre el sistema de Aislación FPS para el límite inferior.

Tabla N° 188 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4625	0.4625	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4634	0.4634	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4656	0.4656	0.0022	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4651	0.4651	-0.0005	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4648	0.4648	-0.0003	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4632	0.4632	-0.0016	-0.0006	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4578	0.4578	-0.0054	-0.0021	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 189 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3928	0.3928	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3942	0.3942	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3974	0.3974	0.0032	0.0008	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3966	0.3966	-0.0008	-0.0003	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3961	0.3961	-0.0005	-0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3951	0.3951	-0.0010	-0.0004	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3852	0.3852	-0.0099	-0.0038	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 190 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3923	0.3923	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3935	0.3935	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3963	0.3963	0.0028	0.0007	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3956	0.3956	-0.0007	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3953	0.3953	-0.0003	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3931	0.3931	-0.0022	-0.0008	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3858	0.3858	-0.0073	-0.0028	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 191 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.6163	0.6163	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.6171	0.6171	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.6192	0.6192	0.0021	0.0005	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.6188	0.6188	-0.0004	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.6186	0.6186	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.6173	0.6173	-0.0013	-0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.6126	0.6126	-0.0047	-0.0018	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 192 – Desplazamiento sentido X en lagunas de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2495	0.2495	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2502	0.2502	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2515	0.2515	0.0013	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2509	0.2509	-0.0006	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2504	0.2504	-0.0005	-0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2490	0.2490	-0.0014	-0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2448	0.2448	-0.0042	-0.0016	0.020	Cumple

Fuente: Propia

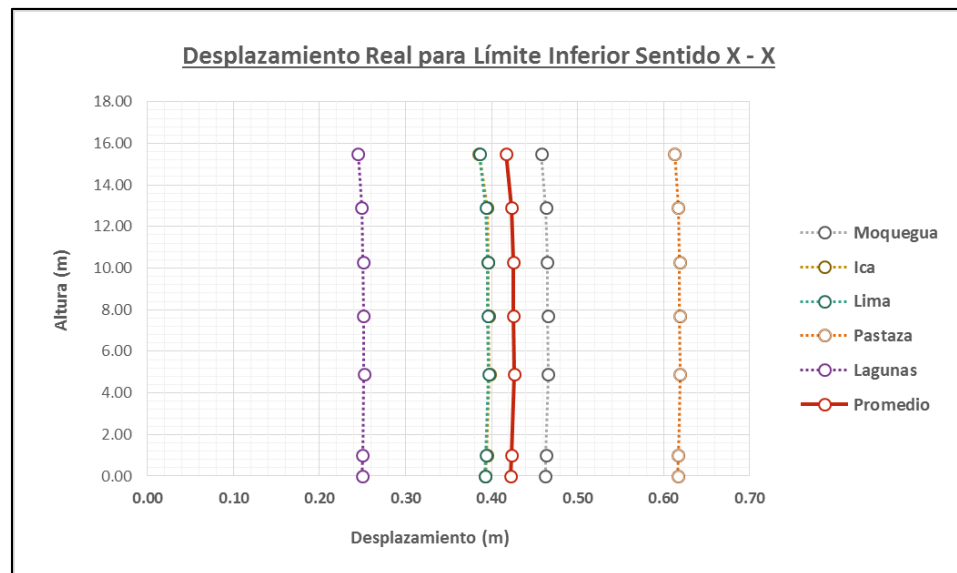
Tabla N° 193 – Desplazamiento promedio sentido X de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4227	0.4227	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4237	0.4237	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4260	0.4260	0.0023	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4254	0.4254	-0.0006	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4250	0.4250	-0.0004	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4235	0.4235	-0.0015	-0.0006	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4172	0.4172	-0.0063	-0.0024	0.020	Cumple

Fuente: Propia

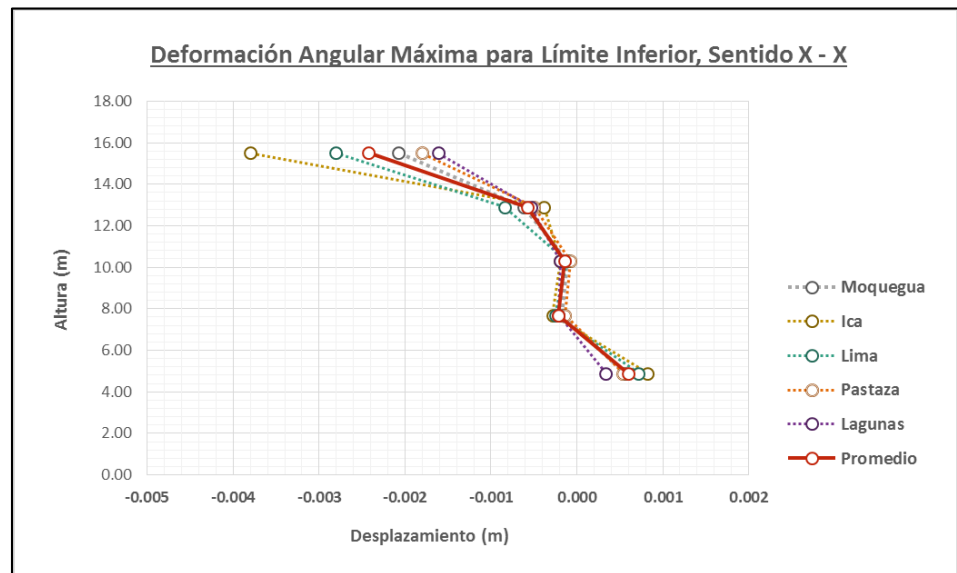
Los desplazamiento en la base y entresijos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.6163 m producidos por el sismo de Pastaza (2019) y el menor 0.2495 m del sismo de Lagunas (2019). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0038 en el quinto entresijo del sismo de Ica (2007).

Gráfica N° 56 - Desplazamiento sentido X de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 57 – Derivas sentido X de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas de la edificación ante los movimientos sísmicos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 193** con un desplazamiento en base de 0.4227 m y deriva máxima de 0.0024 en el quinto entrepiso.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento FPS están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 194 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3587	0.3587	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3576	0.3576	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3590	0.3590	0.0014	0.0004	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3589	0.3589	-0.0001	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3587	0.3587	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3588	0.3588	0.0001	0.0000	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3559	0.3559	-0.0029	-0.0011	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 195 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.6843	0.6843	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.6829	0.6829	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.6853	0.6853	0.0024	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.6855	0.6855	0.0002	0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.6858	0.6858	0.0003	0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.6863	0.6863	0.0005	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.6830	0.6830	-0.0033	-0.0013	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 196 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2623	0.2623	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2617	0.2617	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2626	0.2626	0.0009	0.0002	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2626	0.2626	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2625	0.2625	-0.0001	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2626	0.2626	0.0001	0.0000	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2609	0.2609	-0.0017	-0.0007	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 197 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.3573	0.3573	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.3571	0.3571	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.3575	0.3575	0.0004	0.0001	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.3575	0.3575	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.3574	0.3574	-0.0001	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.3574	0.3574	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.3564	0.3564	-0.0010	-0.0004	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 198 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.2495	0.2495	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.2502	0.2502	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.2515	0.2515	0.0013	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.2509	0.2509	-0.0006	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.2504	0.2504	-0.0005	-0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.2490	0.2490	-0.0014	-0.0005	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.2448	0.2448	-0.0042	-0.0016	0.020	Cumple

Fuente: Propia

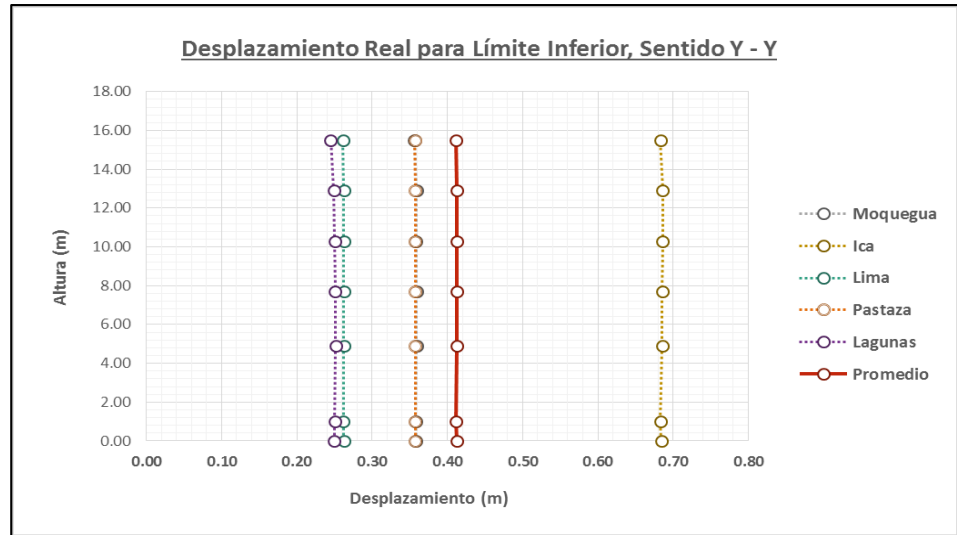
Tabla N° 199 – Desplazamiento Promedio sentido Y en límite inferior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.4125	0.4125	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.4118	0.4118	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.4129	0.4129	0.0011	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.4129	0.4129	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.4128	0.4128	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.4130	0.4130	0.0002	0.0001	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.4110	0.4110	-0.0020	-0.0008	0.020	Cumple

Fuente: Propia

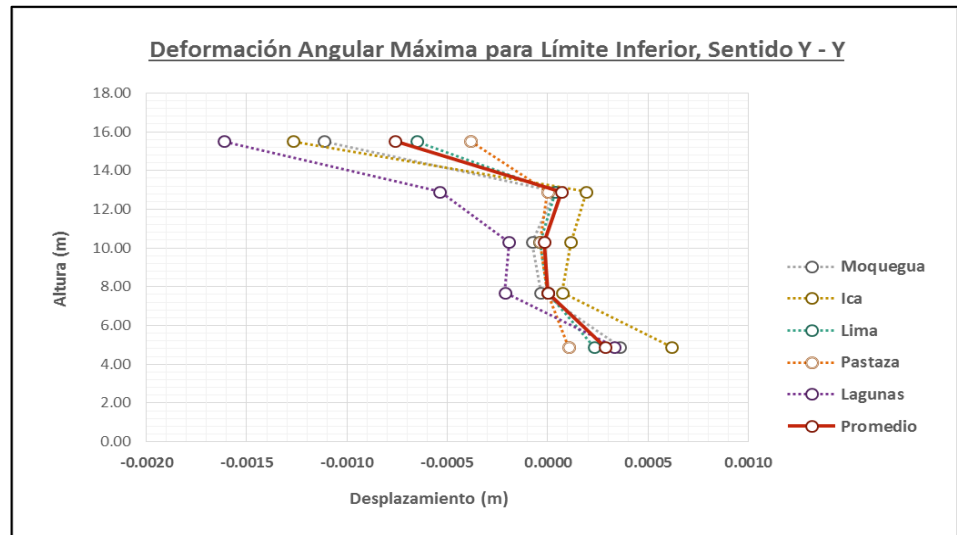
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.6843 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.2495 m del sismo de Pastaza (2019). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0016 en el quinto entrepiso del sismo de Lagunas (2019).

Gráfica N° 58 – Desplazamiento sentido Y de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 59 – Derivas sentido Y de límite inferior para Sistema FPS



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas de la edificación ante los movimientos sísmicos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 199** con un desplazamiento en base de 0.4125 m y deriva máxima de 0.0008 (En el sentido opuesto) del quinto entrepiso.

En el límite superior, los desplazamientos y derivas para el sentido EW (Sentido X) de cada registro sísmico empleado está indicado en las tablas a continuación. Siendo tomados desde la base aislamiento hasta el entrepiso de nivel más alto.

Tabla N° 200 – Desplazamiento sentido X en Moquegua de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.6433	0.6433	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.6437	0.6437	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.6452	0.6452	0.0015	0.0004	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.6450	0.6450	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.6450	0.6450	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.6451	0.6451	0.0001	0.0000	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.6437	0.6437	-0.0014	-0.0005	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 201 – Desplazamiento sentido X en Ica de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.7494	0.7494	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.7515	0.7515	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.7570	0.7570	0.0055	0.0014	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.7560	0.7560	-0.0010	-0.0004	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.7557	0.7557	-0.0003	-0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.7528	0.7528	-0.0029	-0.0011	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.7416	0.7416	-0.0112	-0.0043	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 202 – Desplazamiento sentido X en Lima de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.5079	0.5079	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.5089	0.5089	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.5114	0.5114	0.0025	0.0006	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.5110	0.5110	-0.0004	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.5111	0.5111	0.0001	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.5102	0.5102	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.5056	0.5056	-0.0046	-0.0018	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 203 – Desplazamiento sentido X en Pastaza de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.8287	0.8287	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.8298	0.8298	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.8332	0.8332	0.0034	0.0009	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.8328	0.8328	-0.0004	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.8328	0.8328	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.8319	0.8319	-0.0009	-0.0003	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.8266	0.8266	-0.0053	-0.0020	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 204 – Desplazamiento sentido X en Lagunas de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.8592	0.8592	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.8601	0.8601	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.8631	0.8631	0.0030	0.0008	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.8629	0.8629	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.8631	0.8631	0.0002	0.0001	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.8629	0.8629	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.8597	0.8597	-0.0032	-0.0012	0.020	Cumple

Fuente: Propia

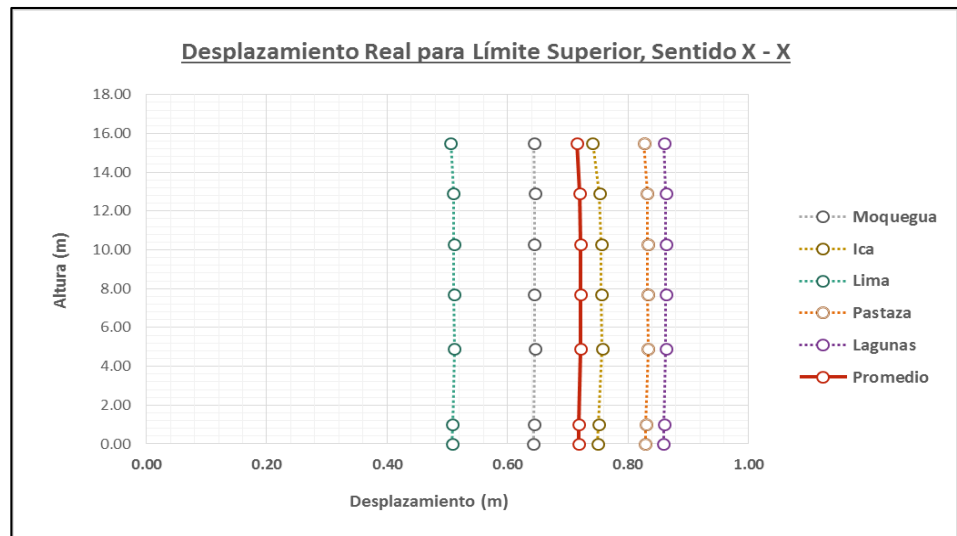
Tabla N° 205 – Desplazamiento promedio sentido X en límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.7177	0.7177	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.7188	0.7188	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.7220	0.7220	0.0032	0.0008	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.7215	0.7215	-0.0004	-0.0002	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.7215	0.7215	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.7206	0.7206	-0.0010	-0.0004	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.7154	0.7154	-0.0051	-0.0020	0.020	Cumple

Fuente: Propia

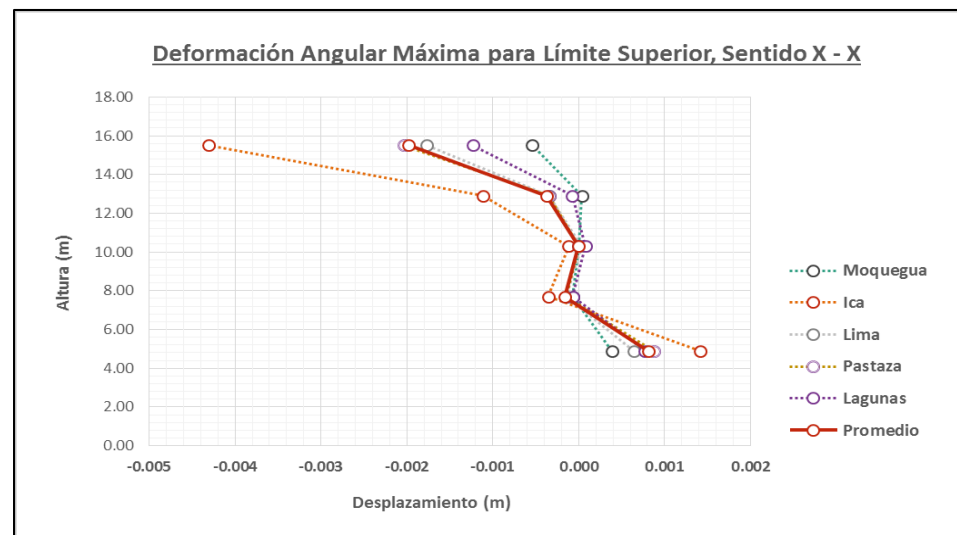
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 0.8592 m producidos por el sismo de Lagunas (2019) y el menor 0.5079 m del sismo de Lima (2013). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0020 en el quinto entrepiso del sismo de Pastaza (2019).

Gráfica N° 60 – Desplazamiento sentido X de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 61 – Derivas sentido X de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas de la edificación ante los movimientos sísmicos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 205** con un desplazamiento en base de 0.7177 m y deriva máxima de 0.0020 en el quinto entrepiso.

Para el par NS (Sentido Y), el movimiento y derivas producidas sobre el sistema de aislamiento FPS están indicadas en las tablas a continuación.

Tabla N° 206 – Desplazamiento sentido Y en Moquegua de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Moquegua 2005								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	1.0554	1.0554	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	1.0559	1.0559	-	-	-	-
1	3.90	4.90	1.0570	1.0570	0.0011	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	1.0570	1.0570	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	1.0576	1.0576	0.0006	0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	1.0580	1.0580	0.0004	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	1.0587	1.0587	0.0007	0.0003	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 207 – Desplazamiento sentido Y en Ica de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Ica 2007								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	1.0734	1.0734	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	1.0752	1.0752	-	-	-	-
1	3.90	4.90	1.0750	1.0750	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	1.0752	1.0752	0.0002	0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	1.0757	1.0757	0.0005	0.0002	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	1.0756	1.0756	-0.0001	0.0000	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	1.0794	1.0794	0.0038	0.0015	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 208 – Desplazamiento sentido Y en Lima de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lima 2013								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.6362	0.6362	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.6377	0.6377	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.6367	0.6367	-0.0010	-0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.6365	0.6365	-0.0002	-0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.6365	0.6365	0.0000	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.6361	0.6361	-0.0004	-0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.6402	0.6402	0.0041	0.0016	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 209 – Desplazamiento sentido Y en Pastaza de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Pastaza 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.5586	0.5586	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.5581	0.5581	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.5593	0.5593	0.0012	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.5592	0.5592	-0.0001	0.0000	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.5593	0.5593	0.0001	0.0000	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.5595	0.5595	0.0002	0.0001	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.5579	0.5579	-0.0016	-0.0006	0.020	Cumple

Fuente: Propia

Tabla N° 210 – Desplazamiento sentido Y en Lagunas de límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Lagunas 2019								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	1.0674	1.0674	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	1.0673	1.0673	-	-	-	-
1	3.90	4.90	1.0711	1.0711	0.0038	0.0010	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	1.0732	1.0732	0.0021	0.0007	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	1.0754	1.0754	0.0022	0.0008	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	1.0774	1.0774	0.0020	0.0008	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	1.0789	1.0789	0.0015	0.0006	0.020	Cumple

Fuente: Propia

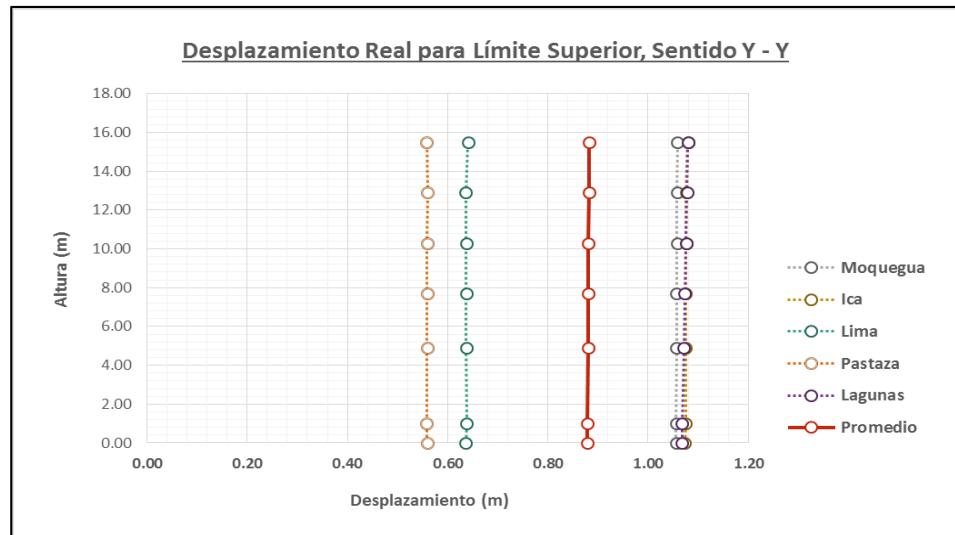
Tabla N° 211 – Desplazamiento promedio sentido Y en límite superior para Sistema FPS

Desplazamientos y Derivas — Promedio								
Entrepiso	H	H Sum	Δ_{SAP}	Δ_{REAL}	$\Delta_{RELATIVO}$	Δi	Δ_{MAX}	$\Delta i \leq \Delta_{MAX}$
Sub	0.00	0.00	0.8782	0.8782	-	-	-	-
Base	1.00	1.00	0.8788	0.8788	-	-	-	-
1	3.90	4.90	0.8798	0.8798	0.0010	0.0003	0.020	Cumple
2	2.80	7.70	0.8802	0.8802	0.0004	0.0001	0.020	Cumple
3	2.60	10.30	0.8809	0.8809	0.0007	0.0003	0.020	Cumple
4	2.60	12.90	0.8813	0.8813	0.0004	0.0002	0.020	Cumple
5	2.60	15.50	0.8830	0.8830	0.0017	0.0007	0.020	Cumple

Fuente: Propia

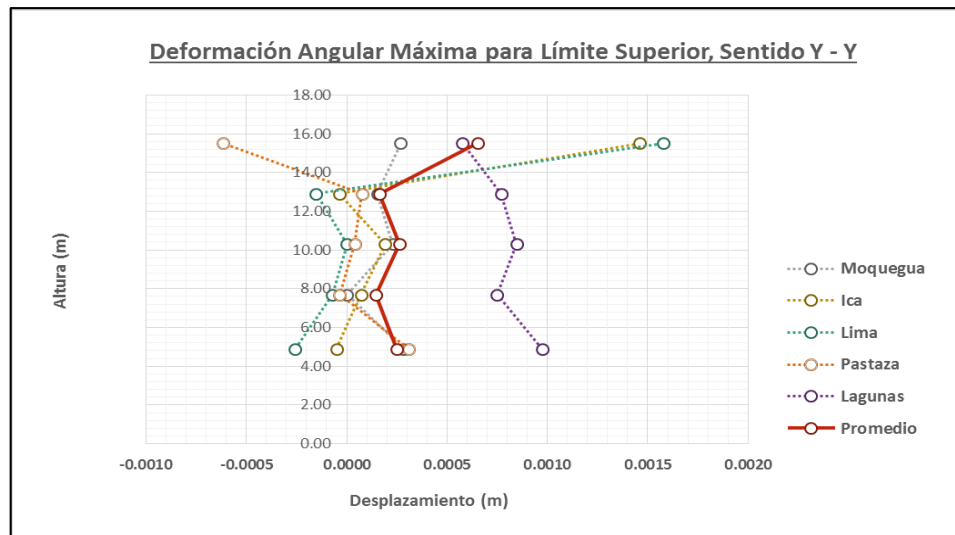
Los desplazamiento en la base y entrepisos se observan en las tablas mostradas. De los cuales el máximo desplazamiento en la base es de 1.0734 m producidos por el sismo de Ica (2007) y el menor 0.5586 m del sismo de Pastaza (2019). Por otro lado, la mayor deriva presentada es de 0.0016, en el quinto entrepiso, del sismo de Lima (2013).

Gráfica N° 62 – Desplazamiento sentido Y de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

Gráfica N° 63 – Derivas sentido Y de límite superior para Sistema FPS



Fuente: Propia

En las gráficas anteriores se observan los desplazamientos y derivas de la edificación ante los movimientos sísmicos utilizados. De estos se tomó un promedio representativo indicado en la **Tabla N° 211** con un desplazamiento en base de 0.8782 m y deriva máxima de 0.0007 en el quinto entrepiso.

b. Fuerzas de Levantamiento

Las cargas axiales transmitidas por la superestructura al sistema de aislación, son analizadas por medio de combos estandarizados. Según su magnitud y sentido puede ser consideradas fuerzas de levantamiento (si es positivo) o de aplastamiento (si es negativo). Medidas en milímetros (mm), se espera que el desplazamiento vertical por levantamiento no sea mayor a 1mm o que no exista un levantamiento considerable que pueda perjudicar la integridad del aislador.

Tabla N° 212 – Levantamiento de aisladores en el límite inferior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Inferior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-105.43	-51.09	0.000	0.000
2	1 - B	109	-115.05	-55.68	0.000	0.000
3	1 - C	157	-64.59	-29.38	0.000	0.000
4	2 - A	5	-116.87	-57.43	0.000	0.000
5	2 - B	121	-69.84	-35.86	-0.400	-0.200
6	2 - C	163	-85.47	-43.33	0.000	0.000
7	3 - A	6	-109.45	-50.20	0.000	0.000
8	3 - B	115	-75.27	-37.61	-0.400	-0.200
9	3 - C	169	-62.85	-34.74	0.000	0.000
10	4 - A	61	-137.92	-52.98	0.000	0.000
11	4 - B	127	-99.60	-41.02	-0.600	-0.200
12	4 - C	175	-89.85	-39.42	0.000	0.000
13	5 - A	67	-138.59	-58.53	0.000	0.000
14	5 - B	133	-105.31	-45.64	-0.600	-0.300
15	5 - C	181	-100.10	-43.03	0.000	0.000
16	6 - A	73	-134.98	-63.24	0.000	0.000
17	6 - B	139	-89.25	-39.84	-0.500	-0.200
18	6 - C	187	-95.99	-48.37	0.000	0.000
19	7 - A	103	-74.55	-35.75	0.000	0.000
20	7 - B	151	-78.64	-44.31	0.000	0.000
21	7 - C	208	-34.14	-20.45	0.000	0.000
Máximo			-34.14	-20.45	0.00	0.00
Mínimo			-138.59	-63.24	-0.60	-0.30

Fuente: Propia

Tabla N° 213 – Levantamiento de aisladores en el límite superior para Sistema FPS

Fuerzas de Levantamiento para Límite Superior						
Unidad de Aislación			Fuerza		Levantamiento	
ID	Ubicación	Joint	Mín kN	Max kN	Mín mm	Max mm
1	1 - A	3	-92.13	-50.89	0.000	0.000
2	1 - B	109	-105.37	-55.49	0.000	0.000
3	1 - C	157	-51.08	-29.19	0.000	0.000
4	2 - A	5	-104.88	-57.24	0.000	0.000
5	2 - B	121	-92.57	-35.98	-0.500	-0.200
6	2 - C	163	-75.82	-43.14	0.000	0.000
7	3 - A	6	-94.55	-50.00	0.000	0.000
8	3 - B	115	-88.34	-38.18	-0.500	-0.200
9	3 - C	169	-57.27	-34.55	0.000	0.000
10	4 - A	61	-115.83	-55.98	0.000	0.000
11	4 - B	127	-105.29	-42.11	-0.600	-0.200
12	4 - C	175	-81.57	-39.22	0.000	0.000
13	5 - A	67	-117.18	-58.32	0.000	0.000
14	5 - B	133	-108.73	-44.52	-0.600	-0.300
15	5 - C	181	-84.96	-44.44	0.000	0.000
16	6 - A	73	-117.54	-63.05	0.000	0.000
17	6 - B	139	-95.70	-41.13	-0.600	-0.200
18	6 - C	187	-83.57	-48.18	0.000	0.000
19	7 - A	103	-60.68	-35.56	0.000	0.000
20	7 - B	151	-73.98	-44.12	0.000	0.000
21	7 - C	208	-28.43	-20.26	0.000	0.000
Máximo			-28.43	-20.26	0.00	0.00
Mínimo			-117.54	-63.05	-0.60	-0.30

Fuente: Propia

Debido a la alta rigidez vertical en el sistema FPS, no se producen desplazamientos por aplastamiento o levantamiento sin importar la magnitud de la carga aplicada.

El aplastamiento indicado en la **Tabla N° 212** (Límite inferior) de -0.60 mm para una carga a compresión de 138.59 kN y en la **Tabla N° 213** (Límite superior) de 00.60 mm proveniente de una carga de 117.54 kN, corresponden al desplazamiento vertical en los deslizadores SL030GC.

4.1.7. Presupuesto Estructural

Con la finalidad de comparar con mayor precisión los presupuestos de los sistemas analizados, se consideró solo el costo de las partidas pertinentes a movimientos de tierra y estructuras. En estos se obtuvo el valor de metrado de cada elemento de acuerdo a los requerimientos de la norma técnica “Metrados para obra de edificación y habilitaciones urbanas” adicionando las partidas para los elementos del sistema de aislamiento, los cuales fueron relacionados con sus respectivos costos unitarios para obtener el presupuesto final.

Los costos unitarios utilizados en las partidas de estructuras son valores referenciales obtenidos de proyectos anteriores con elementos similares; así como el costo de las unidades de aislamiento por tipo de tecnología, los cuales fueron obtenidos de información facilitada de proveedores en trabajos precedentes.

Es necesario destacar que el metrado se realizó en base a dos diseños estructurales, para sistema convencional y sistema aislado. Este último comprende a los elementos de la superestructura y subestructura, los cuales son los mismos para los tres casos de sistema de aislamiento. Dichos presupuestos son descritos con mayor detalle en **Tabla N° 214** para sistema convencional con un total de S/.586 165.70, **Tabla N° 215** y **Tabla N° 216** para sistema HDRB con S/. 835 434.27, **Tabla N° 217** y **Tabla N° 218** para sistema LRB con S/. 982 634.27; por consiguiente, las **Tabla N° 219** y **Tabla N° 220** corresponden al sistema FPS con S/. 922 899.27.

4.1.7.1. Sistema Convencional

Tabla N° 214 – Presupuesto de estructuras para Sistema Convencional

Presupuesto de Estructuras para Sistema Convencional						
N°	Descripción	Und	Metrado	C.U	Parcial	Total
OE.2 ESTRUCTURAS						
OE.2.1 MOVIMIENTOS DE TIERRAS						
OE.2.1.1 NIVELACIÓN DEL TERRENO						
						388.68
OE.2.1.1.1	NIVELACIÓN	m2	194.34	2	388.68	
OE.2.1.2 EXCAVACIONES						
						6398.79
OE.2.1.2.1	EXCAVACIONES MASIVAS (30% ESPONJAMIENTO)	m3	416.86	15.35	6398.79	
OE.2.1.4 RELLENOS						
						5933.98
OE.2.1.4.1	RELLNO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO	m3	116.60	50.89	5933.98	
OE.2.1.5 NIVELACIÓN INTERIOR Y APIOSNADO						
						388.68
OE.2.1.5.1	NIVELACIÓN INTERIOR	m2	194.34	2.00	388.68	
OE.2.2 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						
						151190.69
OE.2.2.3	SOLADOS	m2	194.34	401.63	78052.77	
OE.2.2.9	FALSO PISO	m2	194.34	376.34	73137.92	
OE.2.3 OBRAS DE CONCRETO ARMADO						
OE.2.3.3 VIGAS DE CIMENACIÓN						
						13301.65
OE.2.3.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	18.88	506.14	9554.91	
OE.2.3.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	869.31	4.31	3746.74	
OE.2.3.4 LOSA DE CIMENACIÓN						
						140711.01
OE.2.3.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	135.25	506.14	68454.42	
OE.2.3.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	16764.87	4.31	72256.59	
OE.2.3.6 MUROS DE CORTE						
						41629.24
OE.2.3.6.1	PARA EL CONCRETO	m3	39.94	506.14	20213.97	
OE.2.3.7.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	4968.74	4.31	21415.28	
OE.2.3.7 COLUMNAS						
						120362.70
OE.2.3.7.1	PARA EL CONCRETO	m3	82.36	506.14	41683.41	
OE.2.3.7.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	18255.06	4.31	78679.29	
OE.2.3.8 VIGAS						
						43553.64
OE.2.3.8.1	PARA EL CONCRETO	m3	36.14	506.14	18293.12	
OE.2.3.8.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	5860.91	4.31	25260.51	
OE.2.3.9 LOSAS						
OE.2.3.9.1 LOSAS MACIZAS						
						17325.48
OE.2.3.9.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	16.61	506.14	8408.45	
OE.2.3.9.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2068.91	4.31	8917.02	
OE.2.3.9.2 LOSAS ALIGERADAS						
						31333.29
OE.2.3.9.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	28.10	506.14	14222.34	
OE.2.3.9.2.3	PARA ARMADURA DE ACERO	Kg	1795.03	4.31	7736.56	
OE.2.3.9.2.4	PARA LADRILLO	Und	4006.15	2.34	9374.38	
OE.2.3.10 ESCALERA						
						12829.83
OE.2.3.10.1	PARA EL CONCRETO	m3	13.29	506.14	6726.88	
OE.2.3.10.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1416.00	4.31	6102.95	
OE.2.6 VARIOS						
OE.2.6.1 JUNTAS						
OE.2.6.1.1 JUNTAS e=2"						
						818.06
OE.2.6.1.1.1	EJE 7 - 7	m3	21.40	27.92	597.49	
OE.2.6.1.1.2	EJE C - C	Kg	7.90	27.92	220.57	
PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS TOTAL					S/. 586,165.70	

Fuente: Propia

4.1.7.2. Sistema HDRB

Tabla N° 215 – Presupuesto de estructuras para Sistema HDRB

Presupuesto de Estructuras para Sistema HDRB						
N°	Descripción	Und	Metrado	C.U	Parcial	Total
OE.2 ESTRUCTURAS						
OE.2.1 MOVIMIENTOS DE TIERRAS						
OE.2.1.1 NIVELACIÓN DEL TERRENO						
OE.2.1.1.1 NIVELACIÓN						
OE.2.1.1.1	NIVELACIÓN	m2	194.34	2	388.68	388.68
OE.2.1.2 EXCAVACIONES						
OE.2.1.2.1 EXCAVACIONES MASIVAS (30% ESPONJAMIENTO)						
OE.2.1.2.1	EXCAVACIONES MASIVAS (30% ESPONJAMIENTO)	m3	757.93	15.35	11634.16	11634.16
OE.2.1.4 RELLENOS						
OE.2.1.4.1 RELLENO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO						
OE.2.1.4.1	RELLENO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO	m3	116.60	50.89	5933.98	5933.98
OE.2.1.5 NIVELACIÓN INTERIOR Y APISIONADO						
OE.2.1.5.1 NIVELACIÓN INTERIOR						
OE.2.1.5.1	NIVELACIÓN INTERIOR	m2	194.34	2.00	388.68	388.68
OE.2.2 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						
OE.2.2.3 SOLADOS						
OE.2.2.3	SOLADOS	m2	194.34	401.63	78052.77	78052.77
OE.2.2.9 FALSO PISO						
OE.2.2.9	FALSO PISO	m2	194.34	376.34	73137.92	73137.92
OE.2.3 OBRAS DE CONCRETO ARMADO						
OE.2.3.3 VIGAS DE CIMENTACIÓN						
OE.2.3.3.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	15.24	506.14	7713.57	7713.57
OE.2.3.3.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	673.78	4.31	2903.99	2903.99
OE.2.3.4 LOSA DE CIMENTACIÓN						
OE.2.3.4.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	135.25	506.14	68454.42	68454.42
OE.2.3.4.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	16706.90	4.31	72006.75	72006.75
OE.2.3.7 COLUMNAS						
OE.2.3.7.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.7.1	PARA EL CONCRETO	m3	57.54	506.14	29123.17	29123.17
OE.2.3.7.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.7.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	12792.61	4.31	55136.16	55136.16
OE.2.3.8 VIGAS						
OE.2.3.8.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.8.1	PARA EL CONCRETO	m3	39.08	506.14	19781.55	19781.55
OE.2.3.8.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.8.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	5863.43	4.31	25271.37	25271.37
OE.2.3.9 LOSAS						
OE.2.3.9.1 LOSAS MACIZAS						
OE.2.3.9.1.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.9.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	16.61	506.14	8408.45	8408.45
OE.2.3.9.1.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.9.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2068.91	4.31	8917.02	8917.02
OE.2.3.9.2 LOSAS ALIGERADAS						
OE.2.3.9.2.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.9.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	28.10	506.14	14222.34	14222.34
OE.2.3.9.2.3 PARA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.9.2.3	PARA ARMADURA DE ACERO	Kg	1795.03	4.31	7736.56	7736.56
OE.2.3.9.2.4 PARA LADRILLO						
OE.2.3.9.2.4	PARA LADRILLO	Und	4006.15	2.34	9374.38	9374.38
OE.2.3.10 ESCALERA						
OE.2.3.10.1 PARA EL CONCRETO						
OE.2.3.10.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.84	506.14	6496.58	6496.58
OE.2.3.10.3 PARA LA ARMADURA DE ACERO						
OE.2.3.10.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1411.86	4.31	6085.10	6085.10

Fuente: Propia

Tabla N° 216 – Presupuesto de estructuras para Sistema HDRB (Continuación)

Presupuesto de Estructuras para Sistema HDRB					
N°		Und	Metrado	C.U	Parcial
OE2.3.18 INTERFAZ DE AISLAMIENTO					
OE2.3.18.1	PEDESTALES INFERIORES				18505.96
OE2.3.18.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.25	506.14	6200.22
OE2.3.18.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2855.16	4.31	12305.75
OE2.3.18.2 PEDESTALES SUPERIORES					
OE2.3.18.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	21.00	506.14	10628.94
OE2.3.18.2.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	4791.72	4.31	20652.32
OE2.3.18.3 VIGAS DE AISLAMIENTO					
OE2.3.18.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	18.28	506.14	9252.87
OE2.3.18.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1730.81	4.31	7459.79
OE2.3.18.4 LOSA DE AISLAMIENTO					
OE2.3.18.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	26.30	506.14	13313.51
OE2.3.18.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2354.58	4.31	10148.25
OE.2.6 VARIOS					
OE.2.6.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO					
OE.2.6.1.1 AISLADORES					
OE.2.6.1.1.1	AISLADOR HH070X4S	Und	4.00	16600.00	66400.00
OE.2.6.1.1.2	AISLADOR HN060X3R	Und	12.00	12500.00	66400.00
OE.2.6.1.2 DESLIZADORES					
OE.2.6.1.2.1	DESLIZADOR SL030GC	Und	5.00	12000.00	60000.00
OE.2.6.1.3 OTROS					
OE.2.6.1.3.1	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	Glb	1.00	18885.00	18885.00
OE.2.6.1.3.2	TRANSPORTE Y ADUANAS	Glb	1.00	22620.00	22620.00
PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS TOTAL					S/. 835,434.27

Fuente: Propia

En el sistema HDRB, el presupuesto total de estructuras y movimiento de tierras se calcula en base al metrado de diseño de superestructura y subestructura común para los casos de edificación aislada. A este valor se le adiciona los costos de implementación de las unidades de aislamiento **HH070X4S**, **HN060X3R** y deslizadores **SL030GC** de **S/. 234 305.**, para un total de **S/. 835 434.27**.

4.1.7.3. Sistema LRB

Tabla N° 217 – Presupuesto de estructuras para Sistema LRB

Presupuesto de Estructuras para Sistema LRB						
N°	Descripción	Und	Metrado	C.U	Parcial	Total
OE.2 ESTRUCTURAS						
OE.2.1 MOVIMIENTOS DE TIERRAS						
OE.2.1.1 NIVELACIÓN DEL TERRENO						388.68
OE.2.1.1.1	NIVELACIÓN	m2	194.34	2	388.68	
OE.2.1.2 EXCAVACIONES						11634.16
OE.2.1.2.1	EXCAVACIONES MASIVAS (30% ESPONJAMIENTO)	m3	757.93	15.35	11634.16	
OE.2.1.4 RELLENOS						5933.98
OE.2.1.4.1	RELLNO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO	m3	116.60	50.89	5933.98	
OE.2.1.5 NIVELACIÓN INTERIOR Y APISIONADO						388.68
OE.2.1.5.1	NIVELACIÓN INTERIOR	m2	194.34	2.00	388.68	
OE.2.2 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						151190.69
OE2.2.3	SOLADOS	m2	194.34	401.63	78052.77	
OE2.2.9	FALSO PISO	m2	194.34	376.34	73137.92	
OE.2.3 OBRAS DE CONCRETO ARMADO						
OE2.3.3 VIGAS DE CIMENACIÓN						10617.56
OE2.3.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	15.24	506.14	7713.57	
OE2.3.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	673.78	4.31	2903.99	
OE2.3.4 LOSA DE CIMENTACIÓN						140461.17
OE2.3.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	135.25	506.14	68454.42	
OE2.3.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	16706.90	4.31	72006.75	
OE2.3.7 COLUMNAS						84259.33
OE2.3.7.1	PARA EL CONCRETO	m3	57.54	506.14	29123.17	
OE2.3.7.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	12792.61	4.31	55136.16	
OE2.3.8 VIGAS						45052.92
OE2.3.8.1	PARA EL CONCRETO	m3	39.08	506.14	19781.55	
OE2.3.8.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	5863.43	4.31	25271.37	
OE2.3.9 LOSAS						
OE2.3.9.1 LOSAS MACIZAS						17325.48
OE2.3.9.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	16.61	506.14	8408.45	
OE2.3.9.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2068.91	4.31	8917.02	
OE2.3.9.2 LOSAS ALIGERADAS						31333.29
OE2.3.9.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	28.10	506.14	14222.34	
OE2.3.9.2.3	PARA ARMADURA DE ACERO	Kg	1795.03	4.31	7736.56	
OE2.3.9.2.4	PARA LADRILLO	Und	4006.15	2.34	9374.38	
OE2.3.10 ESCALERA						12581.68
OE2.3.10.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.84	506.14	6496.58	
OE2.3.10.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1411.86	4.31	6085.10	

Fuente: Propia

Tabla N° 218 – Presupuesto de estructuras para Sistema LRB (Continuación)

Presupuesto de Estructuras para Sistema LRB					
N°		Und	Metrado	C.U	Parcial
OE2.3.18 INTERFAZ DE AISLAMIENTO					
OE2.3.18.1 PEDESTALES INFERIORES					18505.96
OE2.3.18.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.25	506.14	6200.22
OE2.3.18.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2855.16	4.31	12305.75
OE2.3.18.2 PEDESTALES SUPERIORES					31281.26
OE2.3.18.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	21.00	506.14	10628.94
OE2.3.18.2.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	4791.72	4.31	20652.32
OE2.3.18.3 VIGAS DE AISLAMIENTO					16712.67
OE2.3.18.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	18.28	506.14	9252.87
OE2.3.18.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1730.81	4.31	7459.79
OE2.3.18.4 LOSA DE AISLAMIENTO					23461.75
OE2.3.18.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	26.30	506.14	13313.51
OE2.3.18.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2354.58	4.31	10148.25
OE.2.6 VARIOS					
OE.2.6.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO					
OE.2.6.1.1 AISLADORES					280000
OE.2.6.1.1.1	AISLADOR LL07G4	Und	7.00	20000.00	140000.00
OE.2.6.1.1.2	AISLADOR LN060G4	Und	9.00	22000.00	140000.00
OE.2.6.1.2 DESLIZADORES					60000
OE.2.6.1.2.1	DESLIZADOR SL030GC	Und	5.00	12000.00	60000.00
OE.2.6.1.3 OTROS					41505
OE.2.6.1.3.1	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	Glb	1.00	18885.00	18885.00
OE.2.6.1.3.2	TRANSPORTE Y ADUANAS	Glb	1.00	22620.00	22620.00
PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS TOTAL					S/. 982,634.27

Fuente: Propia

En el sistema LRB, el presupuesto total de estructuras y movimiento de tierras se calcula en base al metrado de diseño de superestructura y subestructura común para los casos de edificación aislada. A este valor se le adiciona los costos de implementación de las unidades de aislamiento **LL07G4**, **LN060G4** y deslizadores **SL030GC** de **S/. 381 505**, para un total de **S/. 982 634.27**.

4.1.7.4. Sistema FPS

Tabla N° 219 – Presupuesto de estructuras para Sistema FPS

Presupuesto de Estructuras para Sistema FPS						
N°	Descripción	Und	Metrado	C.U	Parcial	Total
OE.2 ESTRUCTURAS						
OE.2.1 MOVIMIENTOS DE TIERRAS						
OE.2.1.1 NIVELACIÓN DEL TERRENO						388.68
OE.2.1.1.1	NIVELACIÓN	m2	194.34	2	388.68	
OE.2.1.2 EXCAVACIONES						11634.16
OE.2.1.2.1	EXCAVACIONES MASIVAS (30% ESPONJAMIENTO)	m3	757.93	15.35	11634.16	
OE.2.1.4 RELLENOS						5933.98
OE.2.1.4.1	RELLNO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO	m3	116.60	50.89	5933.98	
OE.2.1.5 NIVELACIÓN INTERIOR Y APISIONADO						388.68
OE.2.1.5.1	NIVELACIÓN INTERIOR	m2	194.34	2.00	388.68	
OE.2.2 OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						151190.69
OE2.2.3	SOLADOS	m2	194.34	401.63	78052.77	
OE2.2.9	FALSO PISO	m2	194.34	376.34	73137.92	
OE.2.3 OBRAS DE CONCRETO ARMADO						
OE2.3.3 VIGAS DE CIMENACIÓN						10617.56
OE2.3.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	15.24	506.14	7713.57	
OE2.3.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	673.78	4.31	2903.99	
OE2.3.4 LOSA DE CIMENTACIÓN						140461.17
OE2.3.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	135.25	506.14	68454.42	
OE2.3.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	16706.90	4.31	72006.75	
OE2.3.7 COLUMNAS						84259.33
OE2.3.7.1	PARA EL CONCRETO	m3	57.54	506.14	29123.17	
OE2.3.7.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	12792.61	4.31	55136.16	
OE2.3.8 VIGAS						45052.92
OE2.3.8.1	PARA EL CONCRETO	m3	39.08	506.14	19781.55	
OE2.3.8.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	5863.43	4.31	25271.37	
OE2.3.9 LOSAS						
OE2.3.9.1 LOSAS MACIZAS						17325.48
OE2.3.9.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	16.61	506.14	8408.45	
OE2.3.9.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2068.91	4.31	8917.02	
OE2.3.9.2 LOSAS ALIGERADAS						31333.29
OE2.3.9.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	28.10	506.14	14222.34	
OE2.3.9.2.3	PARA ARMADURA DE ACERO	Kg	1795.03	4.31	7736.56	
OE2.3.9.2.4	PARA LADRILLO	Und	4006.15	2.34	9374.38	
OE2.3.10 ESCALERA						12581.68
OE2.3.10.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.84	506.14	6496.58	
OE2.3.10.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1411.86	4.31	6085.10	

Fuente: Propia

Tabla N° 220 – Presupuesto de estructuras para Sistema FPS (Continuación)

Presupuesto de Estructuras para Sistema FPS					
N°		Und	Metrado	C.U	Parcial
OE2.3.18 INTERFAZ DE AISLAMIENTO					
OE2.3.18.1 PEDESTALES INFERIORES					18505.96
OE2.3.18.1.1	PARA EL CONCRETO	m3	12.25	506.14	6200.22
OE2.3.18.1.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2855.16	4.31	12305.75
OE2.3.18.2 PEDESTALES SUPERIORES					31281.26
OE2.3.18.2.1	PARA EL CONCRETO	m3	21.00	506.14	10628.94
OE2.3.18.2.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	4791.72	4.31	20652.32
OE2.3.18.3 VIGAS DE AISLAMIENTO					16712.67
OE2.3.18.3.1	PARA EL CONCRETO	m3	18.28	506.14	9252.87
OE2.3.18.3.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	1730.81	4.31	7459.79
OE2.3.18.4 LOSA DE AISLAMIENTO					23461.75
OE2.3.18.4.1	PARA EL CONCRETO	m3	26.30	506.14	13313.51
OE2.3.18.4.3	PARA LA ARMADURA DE ACERO	Kg	2354.58	4.31	10148.25
OE.2.6 VARIOS					
OE.2.6.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO					
OE.2.6.1.1 AISLADORES					224000
OE.2.6.1.1.1	AISLADOR FPS D-510	Und	16.00	14000.00	224000.00
OE.2.6.1.2 DESLIZADORES					60000
OE.2.6.1.2.1	DESLIZADOR SL030GC	Und	5.00	12000.00	60000.00
OE.2.6.1.3 OTROS					41505
OE.2.6.1.3.1	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	Glb	1.00	18885.00	18885.00
OE.2.6.1.3.2	TRANSPORTE Y ADUANAS	Glb	1.00	22620.00	22620.00
PRESUPUESTO DE ESTRUCTURAS TOTAL					S/. 926,634.27

Fuente: Propia

En el sistema FPS, el presupuesto total de estructuras y movimiento de tierras se calcula en base al metrado de diseño de superestructura y subestructura común para los casos de edificación aislada. A este valor se le adiciona los costos de implementación de las unidades de aislamiento **FPS D-510** y deslizadores **SL030GC** de aproximadamente **S/. 325 505**, dando un total de **S/. 926 634.27**.

4.1.8. Costos por Daño Estructural

Para el cálculo aproximado del costo adicional por daño estructural, se usó la **Gráfica N°3** de vulnerabilidad sísmica para estructuras de concreto armado construida en base a los registros del terremoto en Algarrobo de 1985. A esta se le ingresaron los valores de deformación de entrepiso máxima o deriva máxima para cada sistema analizado.

El valor de la deriva máxima utilizada será el mayor obtenido entre los análisis de sismo estático y dinámico. En la edificación convencional, la deriva máxima es de 0.0063 para el sismo estático en sentido X. No obstante, la edificación con sistemas aislados presenta un mayor número de casos a evaluar. Las derivas seleccionadas para estos sistemas corresponden al análisis sísmico estático para el límite inferior, el que presenta la menor rigidez a fuerzas horizontales. Las derivas máximas obtenidas para los aislamientos HDRB, LRB y FPS son 0.002, 0.0027 y 0.0027 en el orden indicado.

Tabla N° 221 – Deriva Máxima de Edificación por Sistema

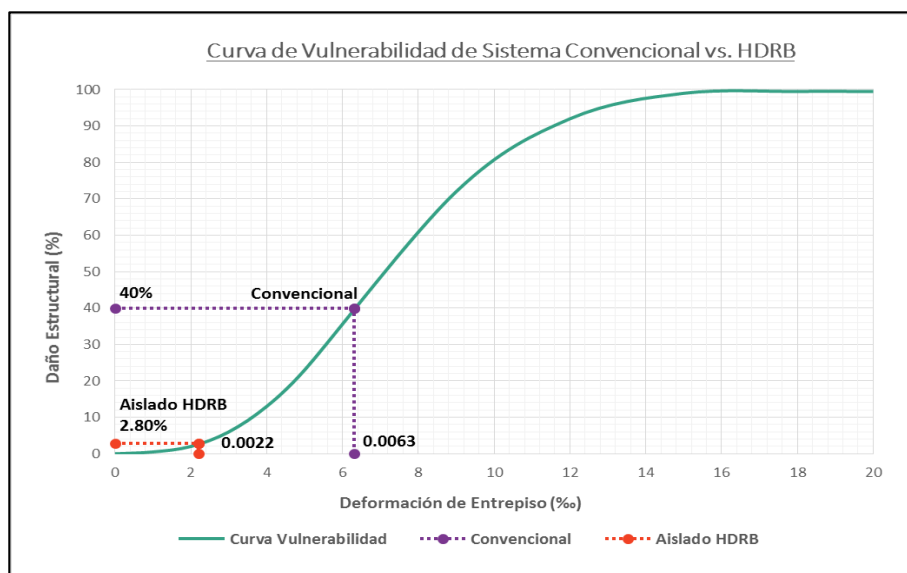
Deriva Máxima por Sistema (Δ_{max})	
Convencional	0.0063
Aislado HDRB	0.0022
Aislado LRB	0.0027
Aislado FPS	0.0027

Fuente: Propia

Estos valores fueron ingresados en la curva de vulnerabilidad, para conocer el porcentaje de daño respectivo del estudio convencional-aislado, pero para facilidades de comparación los sistemas aislados fueron separados en gráficas distintas.

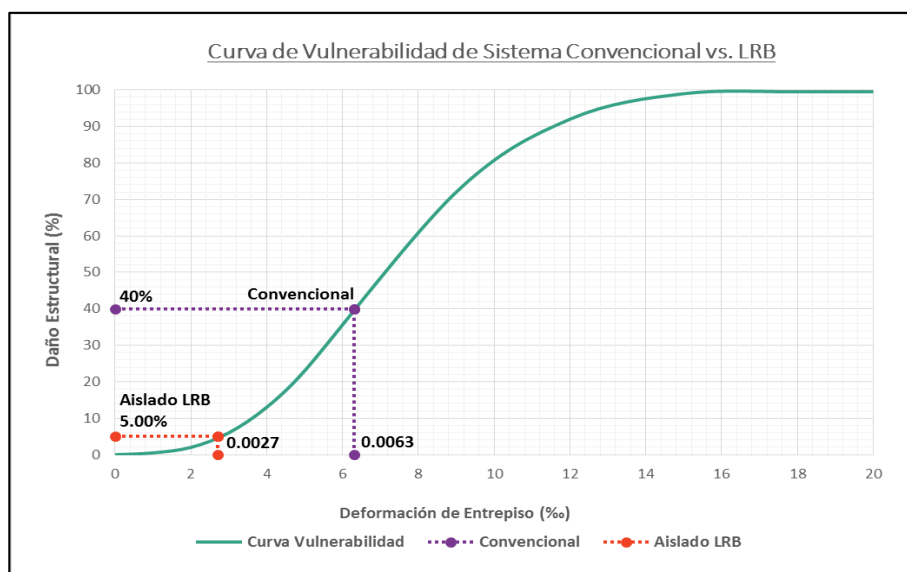
De la curva de vulnerabilidad, se calculan el porcentaje de daño estructural (%) al cruzar los datos de las derivas máximas expresadas en tantos por mil (‰), a mayor deriva mayor será el daño estructural. Los porcentajes obtenidos son de 40% en sistema convencional, 2.80% en sistema HDRB, 5.00% para sistemas LRB y FPS.

Gráfica N° 64 – Daño estructural (%) para Sistema Convencional y Sistema HDRB



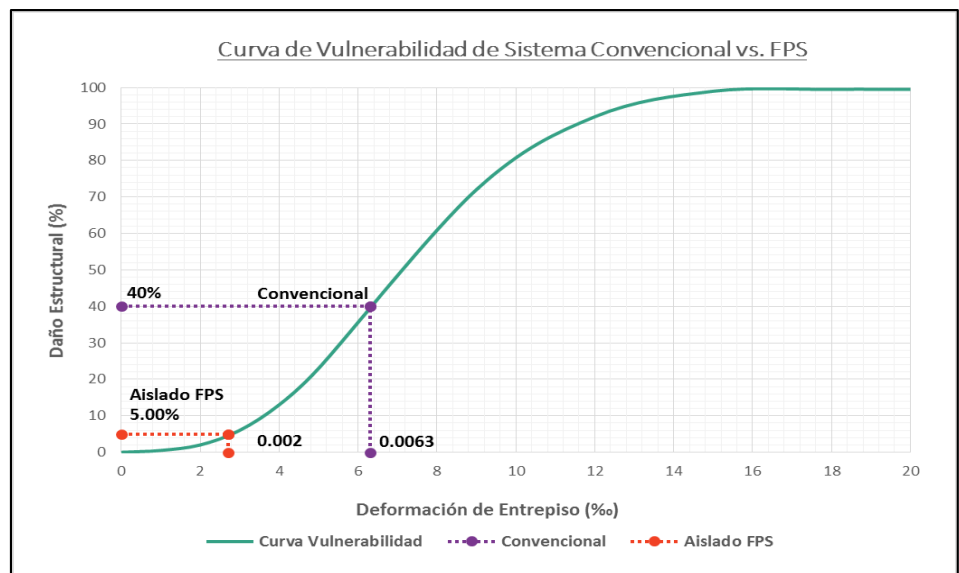
Fuente: Propia

Gráfica N° 65 – Daño estructural (%) para Sistema Convencional y Sistema LRB



Fuente: Propia

Gráfica N° 66 – Daño estructural (%) para Sistema Convencional y Sistema FPS



Fuente: Propia

La **Tabla N° 222** resume los valores porcentuales de daño estructural obtenido para cada sistema evaluado. Estos valores se calculan de acuerdo a un presupuesto completo total, por lo que serán detallados y analizados más adelante.

Tabla N° 222 – Daño estructural en porcentaje por Sistema

Daño Estructural por Sistema (%)	
Convencional	40.00
Aislado HDRB	2.80
Aislado LRB	5.00
Aislado FPS	5.00

Fuente: Propia

4.1. Discusión

4.1.1. Variación en Diseño Estructural

Como se mencionó anteriormente, el presente estudio contempla dos diseños estructurales; ya sea para el caso de diseño convencional o para el diseño aislado indistintamente de la tecnología implementada. Ambos diseños presentan notables diferencias en las dimensiones y distribución de elementos de concreto; así como la distribución de refuerzo de acero implementado. Lo cual se puede interpretar en un incremento o reducción del volumen de concreto y peso de acero respectivamente.

Aunque la edificación aislada presenta un mayor número de estructuras que la edificación convencional, incrementando el metrado general de concreto y acero, comparten la totalidad de elementos básicos de diseño. La variación del volumen de concreto (m³) y peso de acero (Kg), respecto a la edificación convencional, en elementos en común está indicado en la **Tabla N° 223** y **Tabla N° 224**. En ellas no se ha considerado el aporte de muros de corte del sistema convencional o las estructuras en la interfaz de aislamiento.

Tabla N° 223 – Variación de volumen de concreto de estructuras comunes entre Sistemas

Variación de Volumen de Concreto en estructuras comunes entre Sistemas			
	Convencional (m3)	Aislado (m3)	Variación (%)
Vigas de Cimentación	18.88	15.24	-19.27
Losas de Cimentación	135.25	135.25	0.00
Columnas	82.36	57.54	-30.13
Vigas	36.14	39.08	8.14
Losas Macizas	16.61	16.61	0.00
Losas Aligeradas	28.10	28.10	0.00
Escalera	13.29	12.84	-3.42
Total Común (m3)	330.63	304.66	-7.85

Fuente: Propia

En volumen de concreto, la edificación para sistema aislado presenta una considerable disminución en las dimensiones de los elementos estructurales, en especial en las columnas con un valor del 30.13% respecto al edificación convencional. Otras estructuras favorecidas con la reducción del volumen de concreto son las vigas de cimentación con un 19.27% y escalera con 3.42%. Sin embargo, elementos como la losa de cimentación, losa aligerada o losa maciza no son modificadas debido a que dependen solo de cargas por servicio, las mismas en ambos diseños, su variación es del 0%.

Por otro lado, la edificación con aislamiento cuenta con leve incremento en la longitud de las vigas de entrepiso debido a la reducción de sección en columnas y la ausencia de muros de corte. El porcentaje de incremento de concreto apenas llega al 8.14%, valor que puede ser obviado al evaluarse en conjunto con las otras variaciones negativas obtenidas.

En total la edificación convencional acumula un volumen de concreto de elementos en común de 330.63 m³ y la aislada, 304.66 m³. Al comprar las sumatorias, la variación se inclinada a favor de la edificación aislada con una reducción de 7.85%.

Tabla N° 224 – Variación de peso de acero de estructuras comunes entre Sistemas

Variación de Peso de Acero en estructuras comunes entre Sistemas			
	Convencional (Kg)	Aislado (Kg)	Variación (%)
Vigas de Cimentación	869.31	673.78	-22.49
Losas de Cimentación	16764.87	16706.90	-0.35
Columnas	18255.06	12792.61	-29.92
Vigas	5860.91	5863.43	0.04
Losas Macizas	2068.91	2068.91	0.00
Losas Aligeradas	1795.03	1795.03	0.00
Escalera	1416.00	1411.86	-0.29
Total Común (Kg)	47030.08	41312.52	-12.16

Fuente: Propia

En peso de acero, la edificación aislada presenta un único incremento despreciable de 0.04% en vigas de entrepiso respecto a las de edificación convencional. En contraste, la variación en el resto de estructuras es negativa, expresando una importante reducción en el acero total requerido. De estos valores, el mayor porcentaje observable es el de las columnas con 29.92% a causa de la reducción de sección, consecuente con la variación de concreto indicado anteriormente. Este es seguido por el 22.49% en vigas de cimentación debido al menor número de estribos utilizados en la longitud útil, la cual fue acortada por el uso de pedestales inferiores de grandes dimensiones en lugar de columnas.

Además, cabe mencionar que al igual que en concreto, algunas estructuras como la losa aligerada y losa maciza no cuentan con variación en la distribución de acero; ya que su diseño depende las cargas por servicio comunes en ambas edificaciones diseñadas. Esto es expresado con la variación de 0% en la tabla.

La comparación de metrado solo se limita a analizar la reducción de los elementos estructurales, sino que es necesario también conocer la variación total entre los elementos encontrados en ambos sistemas. En la edificación convencional el total de peso de acero de 47 030.08 kg y el de la edificación aislada, de 41 312.52 kg. De esto se puede calcular que el sistema aislado confirma la reducción en conjunto pero con un valor del 12.16% menos del peso inicial.

Ya sea para el metrado de concreto o el de acero, las comparaciones realizadas de las estructuras en común de ambos sistemas indican una clara reducción, la cual se espera no sea compensada con la adición de las estructuras únicas en el análisis.

La **Tabla N° 225** y **Tabla N° 226** presentan el total de elementos presentes en ambos sistemas analizados, incluyendo el aporte de muros de corte o la interfaz de aislamiento en el metrado de concreto y acero. Cuyas variaciones impactaran en el análisis del presupuesto.

Tabla N° 225 – Volumen de concreto total (m3) por Sistema

Volumen de Concreto Total por Sistema		
	Convencional (m3)	Aislado (m3)
Vigas de Cimentación	18.88	15.24
Losas de Cimentación	135.25	135.25
Muros de Corte	39.94	-
Columnas	82.36	57.54
Vigas	36.14	39.08
Losas Macizas	16.61	16.61
Losas Aligeradas	28.10	28.10
Escalera	13.29	12.84
Pedestales Inferiores	-	12.25
Pedestales Superiores	-	21.00
Vigas de Aislamiento	-	18.28
Losas de Aislamiento	-	26.30
Total (m3)	370.56	382.49

Fuente: Propia

Tabla N° 226 – Peso de acero total (kg) por Sistema

Peso de Acero Total por Sistema		
	Convencional (Kg)	Aislado (Kg)
Vigas de Cimentación	869.31	673.78
Losas de Cimentación	16764.87	16706.90
Muros de Corte	4968.74	-
Columnas	18255.06	12792.61
Vigas	5860.91	5863.43
Losas Macizas	2068.91	2068.91
Losas Aligeradas	1795.03	1795.03
Escalera	1416.00	1411.86
Pedestales Inferiores	-	2855.16
Pedestales Superiores	-	4791.72
Vigas de Aislamiento	-	1730.81
Losas de Aislamiento	-	2354.58
Total (Kg)	51998.83	53044.79

Fuente: Propia

Sumando el metrado total de elementos estructurales en cada sistema, se conoce que el volumen de concreto en las edificaciones convencional y aislada son de 370.56 m³ y 382.49 m³ en el orden indicado. Así mismo, para el peso de acero se calculó los valores de 51998.83 kg y 53044.79 kg respectivamente. Con estos valores se observa que a pesar que el sistema aislado tiene una notable reducción en las dimensiones y refuerzo de los elementos estructurales en común, la inclusión de las estructuras exclusivas de la interfaz de aislamiento incrementa el valor del metrado estructural final; sin embargo, este incremento porcentual es de apenas 3.22% en concreto y 2.01% en acero. La tabla a continuación resume los metrados y variaciones entre sistemas.

Tabla N° 227 – Variación porcentual de metrado entre Sistemas

Variación de Metrado entre Sistemas		
	Concreto (m ³)	Acero (Kg)
Convencional	370.56	51998.83
Aislado	382.49	53044.79
Variación (%)	3.22	2.01

Fuente: Propia

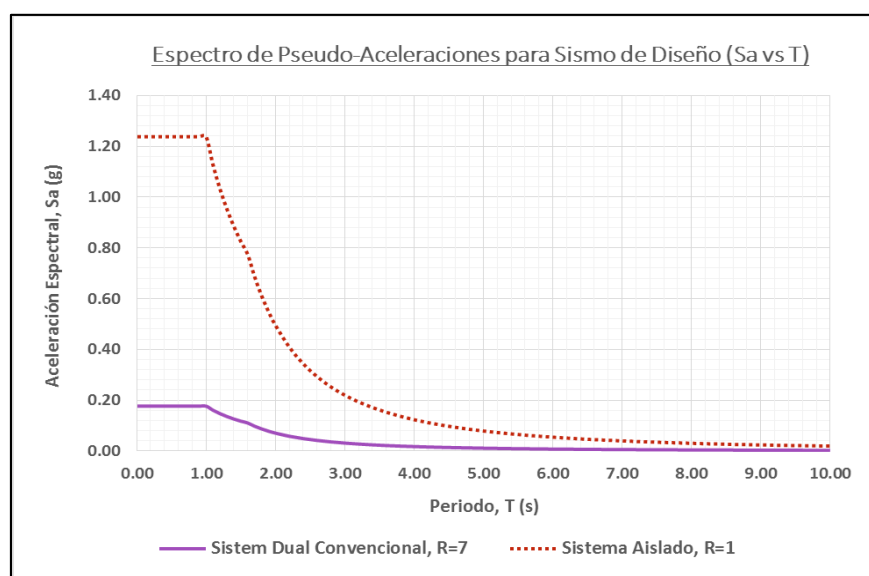
Hasta el momento, se ha analizado únicamente la variación en las partidas de obras de concreto armado, tanto para el caso considerando solo las estructuras presentes en ambos como para el total de elementos existentes. En estos se ha observado que el sistema aislado presenta un incremento menor al 4% por la necesidad de un conjunto de estructuras adicionales. Pero, a su vez, se ha observado lo voluble que el porcentaje de variación cuando el análisis está sujeto a ciertas condiciones. Es decir, si bien el sistema aislado presentó incremento estructuralmente, la adición del resto de partidas a considerar modificará esta relación. Aportes que serán estudiados más adelante.

4.1.2. Impacto del Amortiguamiento Efectivo

En las edificaciones de diseño convencional se estableció que el amortiguamiento en estructuras de concreto armado es del 5%, gracias a la mitigación energía producida por el fallo esperado de los elementos estructurales. En base a este valor de amortiguamiento, las distintas normas de diseño construyeron sus propios espectros de pseudo aceleraciones para cada dirección de análisis, incluyendo el coeficiente de reducción (R).

En Perú, la norma E0.30 de “Diseño Sismoresistente” establece que el espectro de pseudo aceleraciones es calculado en función al periodo (T) y la **Ecuación 26**, se expresa en unidades de gravedad (g). En conjunto con las características del terreno, el espectro de pseudo aceleraciones utilizado para las edificaciones del presente estudio queda indicado en la curva del **Gráfico N° 67**; la cual, a su vez, es modificada por el factor de reducción utilizado según el tipo de estructura. Mientras un valor $R=7$ es para estructural dual convencional, a los sistemas aislados se les da un coeficiente $R=2$ en la superestructura o de $R=1$ en subestructura.

Gráfica N° 67 – Espectro de pseudo-aceleraciones para Sismo de Diseño



Fuente: Propia

Un coeficiente de reducción $R=2$ significa que la edificación tiene responsabilidad mínimas en mitigar la energía del movimiento sísmico; ya que, en el caso de los sistemas aislados, la interfaz de aislamiento es la encargada de contrarrestarla. En la **Gráfica N° 67**, es representado como un espectro con los máximos valores posibles para las características del terreno, bajo las condiciones de un amortiguamiento de 5%.

En estructuras aisladas, el amortiguamiento de una edificación es incrementado por el aporte del sistema de aislamiento utilizado. La suma de ambos aportes es conocido como amortiguamiento efectivo y dependerá de las propiedades histeréticas de los aisladores utilizados. El porcentaje dependerá del tipo de tecnología implementado; así como para el límite implementado, sea inferior o superior.

Tabla N° 228 – Amortiguamiento Efectivo por sistema estudiado

Amortiguamiento Efectivo (β_{eff}) por Sistema		
	Límite Inferior	Límite Superior
Sistema Tradicional	5.00%	5.00%
Sistema HDRB	24.64%	24.53%
Sistema LRB	12.79%	21.68%
Sistema FPS	21.02%	41.28%

Fuente: Propia

Los tres sistemas de aislamiento presentan amortiguamientos mayores al 5% de los sistemas tradicionales. Entre estos se puede resaltar los de mayor valor, como la tecnología HDRB con un 24.64% en el límite inferior y la tecnología FPS con 41.28% en el límite superior. Aunque como indica su nombre, los valores del límite inferior suelen ser menores que los del límite superior. Además, es importante considerar que un amortiguamiento no debería ser mayor al 30%, para evitar excesivos desplazamientos que puedan tener efectos negativos en la superestructura. Esta condición es importante para reconocer la efectividad de aislamientos implementados.

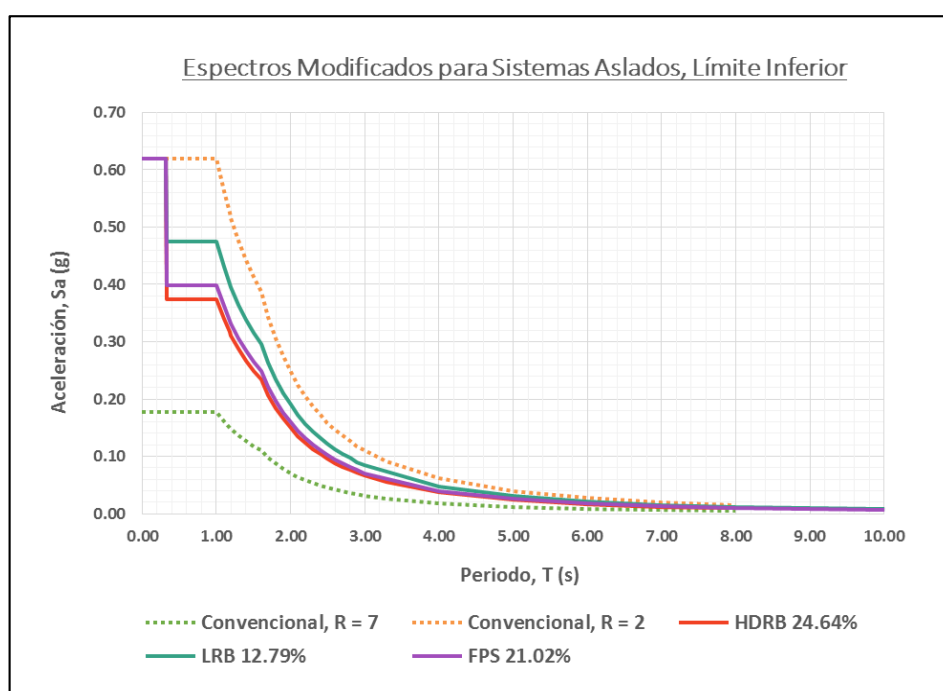
El nuevo amortiguamiento de la edificación, por la implementación de un sistema de aislamiento, afecta directamente al espectro de pseudo aceleraciones usado en el análisis por sismo dinámico. Los valores del espectro se reducen inversamente proporcional al incremento del porcentaje de amortiguamiento indicando una reducción en el impacto del sismo sobre todo el sistema. La conversión de datos en la curva requiere de un factor establecido bajo **Ecuación 336**. El espectro obtenido tendrá como coeficiente de reducción $R=2$, para el análisis en la superestructura.

$$Factor = \frac{2.31 - 0.41 * \ln \beta_{ob}}{2.31 - 0.41 * \ln \beta_{ba}} \quad \text{Ec. 336}$$

Donde,

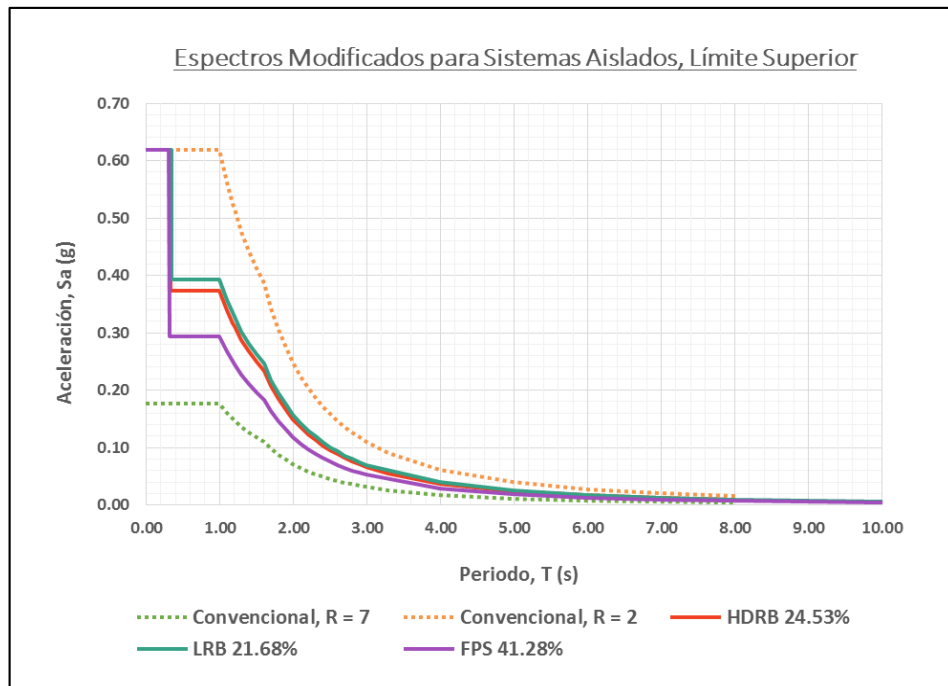
- β_{ob} = Amortiguamiento objetivo (Requerido)
- β_{ba} = Amortiguamiento base (Inicial)

Gráfica N° 68 – Espectros de pseudo-aceleraciones para sistemas aislados en Límite Inferior



Fuente: Propia

Gráfica N° 69 – Espectros de pseudo-aceleraciones para sistemas aislados en Límite Superior



Fuente: Propia

El punto de escalado en el espectro de aceleraciones es indicado por los modos de vibración no aislados de la estructura. A partir de este punto, las aceleraciones del espectro modificado son inferiores a los del espectro base con coeficiente $R=2$ utilizado. La reducción dependerá de cuanto mayor sea el amortiguamiento en cada caso, siguiendo lo indicado en **Tabla N° 228**. En el límite inferior, los sistemas HDRB y FPS presentan rangos de reducción similares, de los cuales el menor es el HDRB con 24.64%. En cambio, en el límite superior, los valores más bajos de aceleración corresponden al aislamiento FPS, seguido por el HDRB y LRB. No obstante, en este límite, el FPS presenta un porcentaje de amortiguamiento que excede el máximo aceptable indicado, por lo que su implementación no resultaría beneficioso para la edificación. Obviándolo de la comparación, el segundo con la mayor reducción es el aislamiento HDRB de 24.53% de amortiguamiento.

Tanto en el límite inferior como en límite superior, las tres tecnologías mejoraron la respuesta de su estructura ante la influencia de un sismo, pero la tecnología HDRB destaca especialmente en ambos límites. Los valores de amortiguamiento de esta tecnología se mantienen estables entre un caso y el otro, con una diferencia entre amortiguamientos mínima. Además, sus ratios de 24.64% y 24.53% son menores que el máximo aceptado, para que en la edificación no se genere deformaciones por las restricciones en el desplazamiento de la interfaz aislada.

Asimismo, el amortiguamiento de una edificación es dada por la disipación de energía causada por la rigidez del sistema de aislamiento. Es una característica propia de los aisladores y corresponde a la resistencia para deformarse por la acción de las fuerzas horizontales de un sismo. La relación de ambas característica es directa, de manera que a mayor rigidez tenga la unidad de aislación, mayor será el amortiguamiento. La rigidez es calculada para los límites inferiores y superiores del análisis.

Tabla N° 229 – Rigidez Efectiva por sistema estudiado

Rigidez Efectivo (k_{eq}) por Sistema		
	Límite Inferior	Límite Superior
Sistema HDRB	4254 kN/m	33351 kN/m
Sistema LRB	8280 kN/m	26149 kN/m
Sistema FPS	2687 kN/m	6388 kN/m

Fuente: Propia

4.1.3. Periodos Fundamentales

En edificaciones convencionales, el periodo fundamental de vibración corresponde al mayor periodo obtenido entre los tres primeros modos de vibración. Estos modales destacan por tener ratios de masas orientados mayormente a uno de los tres sentidos espaciales. En la edificación estudiada, el periodo fundamental corresponde al periodo 0.401s del modal 1 en el sentido Y, seguido por el modal 2 de 0.379s y modal 3 de 0.310s. El valor de los otros modales es notablemente menor acumulando un total de 15 modales evaluados.

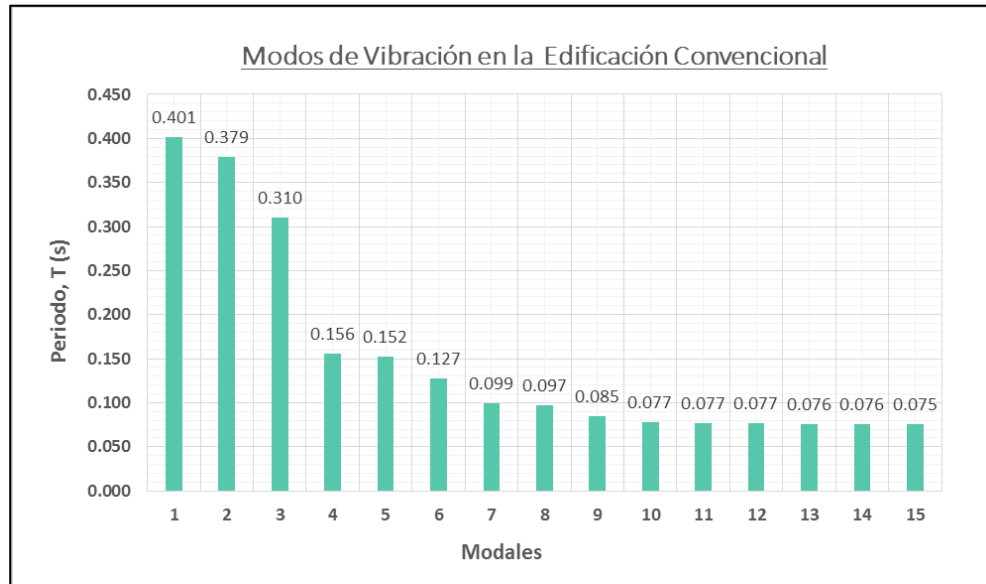
Para el análisis modal se consideró contabilizar tres modales por cada nivel que tenga la edificación, como la edificación tiene cinco niveles se usó un total de 15 modales. Además, ya que los entrepisos son constantes en todos los sistemas, el mismo número de modales fue considerado en los casos con aislamiento.

Tabla N° 230 – Modos Fundamentales de vibración para Sistema Convencional

Participación Modal - Ratio de Masas				
Modal	T s	UX	UY	UZ
Modal 1	0.401	0.027	0.786	0.000
Modal 2	0.379	0.786	0.027	0.000
Modal 3	0.310	0.001	0.000	0.000
Modal 4	0.156	0.042	0.006	0.000
Modal 5	0.152	0.007	0.054	0.000
Modal 6	0.127	0.006	0.003	0.000
Modal 7	0.099	0.033	0.041	0.000
Modal 8	0.097	0.043	0.031	0.001
Modal 9	0.085	0.003	0.002	0.000
Modal 10	0.077	0.000	0.000	0.008
Modal 11	0.077	0.000	0.000	0.000
Modal 12	0.077	0.000	0.000	0.001
Modal 13	0.076	0.000	0.000	0.003
Modal 14	0.076	0.000	0.000	0.000
Modal 15	0.075	0.000	0.000	0.001

Fuente: Propia

Gráfica N° 70 – Modos de Vibración para Sistema Convencional



Fuente: Propia

Los tres primeros modos de vibración son los más altos y en los que el sistema de aislación tiene la mayor influencia. A diferencia de los demás modales, el sistema de aislamiento incrementa su periodo en relación al nuevo ratio de amortiguamiento producido, distanciando la edificación de su periodo de vibración original. Por esa razón, tanto el amortiguamiento como periodo efectivos son importantes para evaluar la capacidad de las tecnologías de aislamiento de modificar las condiciones iniciales de la estructura, aunque este incremento no debe ser excesivo como se indicó en el amortiguamiento.

El periodo efectivo es inversamente proporcional al amortiguamiento; en cuanto mayor sea el ratio, menor será el periodo del sistema aislado. Estos son calculados para ambos límites de diseño, con los más altos siendo en límite inferior y los más bajos del límite superior.

Los tres sistemas de aislamiento evaluados incrementan el periodo de vibración de la edificación; pero, tanto en el límite inferior como en el superior, el sistema FPS presenta los mayores valores siendo 4.172s y 2.725s respectivamente. En los otros dos sistemas no existe un orden específico, de manera que el sistema HDRB tiene el mayor valor en el límite inferior con 3.354s y el sistema LRB, en el límite superior con 1.486s. Sin embargo, al considerar el excesivamente alto periodo obtenido junto con un amortiguamiento por sobre el máximo aceptable, la tecnología FPS incrementa el riesgo de la edificación a sufrir efectos por sobre amortiguamiento.

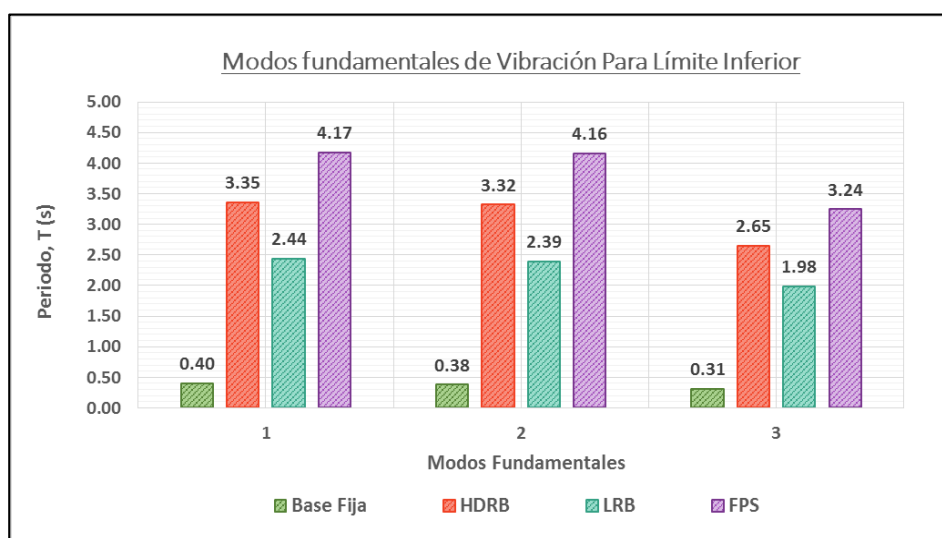
Tabla N° 231 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 1

Periodos Efectivos (T) por Sistema — Modo 1		
	Límite Inferior	Límite Superior
Sistema Tradicional	0.401 s	0.401 s
Sistema HDRB	3.354 s	1.250 s
Sistema LRB	2.442 s	1.486 s
Sistema FPS	4.172 s	2.725 s

Fuente: Propia

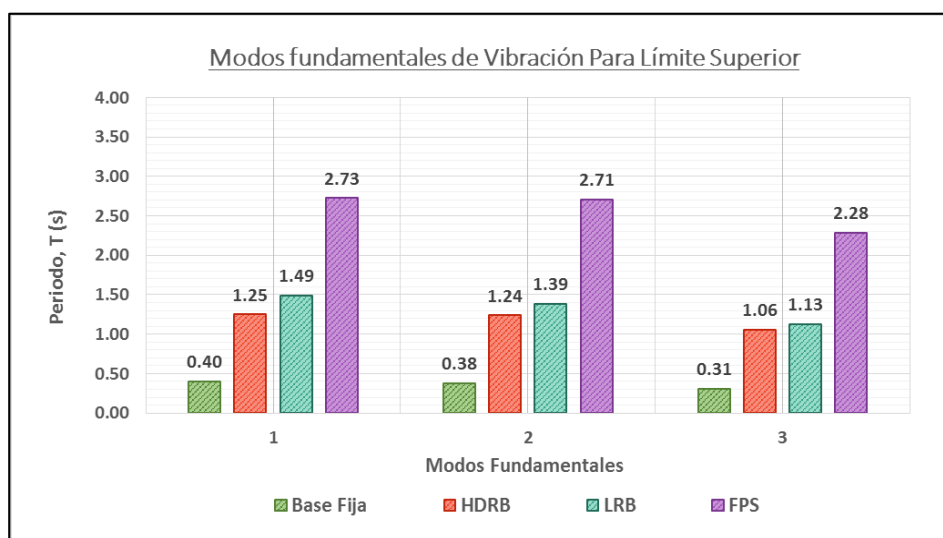
El incremento de periodo para el primer modo fundamental observado en los datos de la **Tabla N° 231** es confirmado visualmente en **Gráfica N° 71** de límite inferior y **Gráfica N° 72** de límite superior.

Gráfica N° 71 – Comparación de los modos fundamentales para Límite Inferior



Fuente: Propia

Gráfica N° 72 – Comparación de los modos fundamentales para Límite Superior



Fuente: Propia

Así como los periodos efectivos del modo 1, los modos 2 y 3 son también afectados por la respuesta de los sistemas aislados. Sus valores siguen el mismo orden de mayor a menor establecido anteriormente.

Tabla N° 232 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 2

Periodos Efectivos (T) por Sistema — Modo 2		
	Límite Inferior	Límite Superior
Sistema Tradicional	0.379 s	0.379 s
Sistema HDRB	3.320 s	1.238 s
Sistema LRB	2.394 s	1.385 s
Sistema FPS	4.157 s	2.710 s

Fuente: Propia

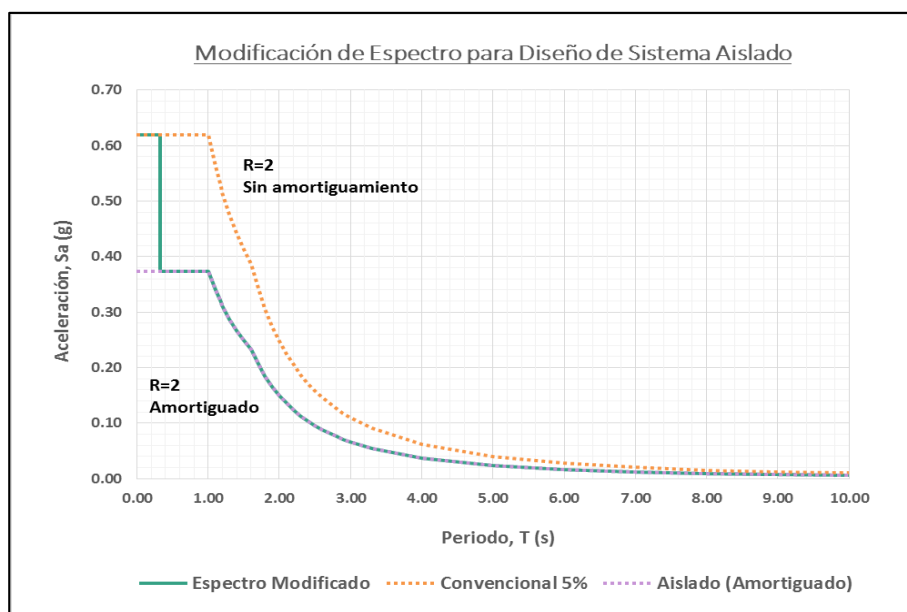
Tabla N° 233 – Comparación de Periodos Efectivos por sistema, Modo 3

Periodos Efectivos (T) por Sistema — Modo 3		
	Límite Inferior	Límite Superior
Sistema Tradicional	0.310 s	0.310 s
Sistema HDRB	2.651 s	1.060 s
Sistema LRB	1.983 s	1.131 s
Sistema FPS	3.244 s	2.281 s

Fuente: Propia

En la estructura aislada se consideró un total de 15 modos de vibración para el análisis modal, de los cuales solo los tres primeros fueron modificados por el uso de aisladores incrementando el valor del periodo que tendrían originalmente. La diferencia de periodos entre ambos grupos de modales es considerable. A su vez, los modos no aislados son usados para indicar el comienzo del amortiguamiento en el espectro de pseudo-aceleraciones, siendo el modo 4 el más alto de estos. Este modo indicará el periodo en el eje de horizontal, en donde el espectro pasará de una curva no amortiguada $R=2$ a una modificada por el ratio de amortiguamiento.

Gráfica N° 73 – Modificación de espectro de pseudo-aceleraciones para sistemas aislados



Fuente: Propia

4.1.4. Comparación de Desplazamientos y Derivas

Cada tecnología de aislamiento implementada responde de forma distinta ante la acción de un sismo, de acuerdo a las propiedades histeréticas de su diseño. Las fuerzas horizontales de sismo desplazan lateralmente la interfaz de aislamiento amortiguando gran parte de la fuerza sísmica. Una vez llegado al desplazamiento máximo posible, el aislador aplica fuerza restauradora en ciclos hasta que la edificación regresa a su posición inicial con el menor impacto directo del evento. Aun así, los contantes desplazamientos transmiten una mínima fracción de la fuerza sísmica que será mitigada por los elementos estructurales. Además, La energía transmitida produce deformaciones angulares o derivas entre los entrepisos.

La comparación de desplazamientos y derivas es realizada para los cuatro sistemas considerados en el estudio: sistema convencional y los sistemas aislados HDRB, LRB y FPS. Cada sistema será evaluado en los tres casos de análisis sísmico: sismo estático, sismo dinámico y sismo espectro de respuesta. No obstante, a diferencia de los dos primeros, el análisis por espectro de respuesta no solo es evaluado para el sentido X y sentido Y; si no que somete a la estructura a sismos ocurridos con registros conocidos.

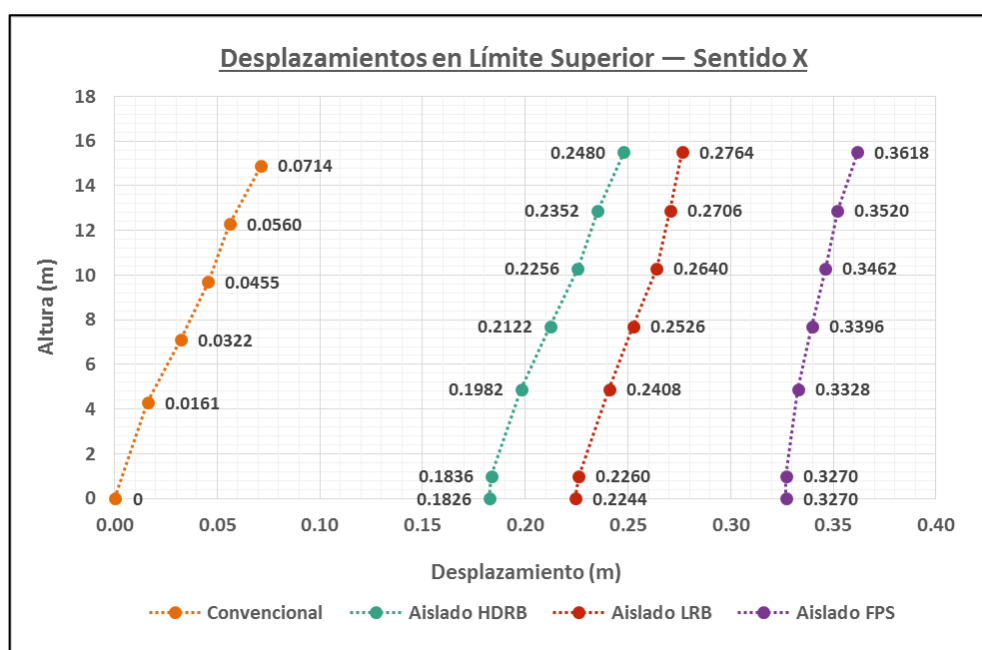
De estas comparaciones se mide los resultados de cada sistema y el grado de ventaja en relación con la edificación convencional; así como conocer la tecnología que presente el mayor equilibrio entre la reducción del desplazamiento en la base, desplazamiento de entepiso y derivas.

4.1.5. Desplazamientos en Base y Entrepisos

4.1.5.1. Análisis de Sismo Estático

En el límite inferior, los desplazamientos del sentido X son representados en el **Gráfico N°74**, donde los sistemas son dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.6844m en la base y 0.7054m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.5106m en la base junto a 0.5336m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.4622m en base y 0.4950m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0210m (2.10cm), 0.0230m (2.30cm) y 0.0278m (2.78cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0714m (7.14cm).

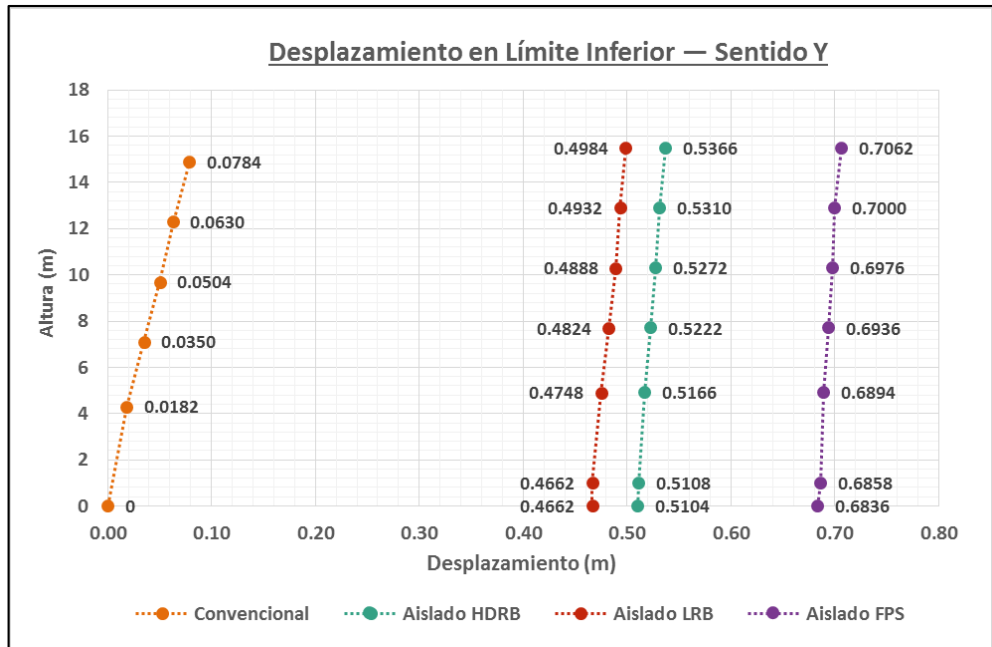
Gráfica N° 74 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sismo Estático



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 75** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS, con 0.6836m y 0.7062m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.5104m en la base junto a 0.5366m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.4662m en base y 0.4984m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0226m (2.26cm), 0.0262m (2.62cm) y 0.0322m (3.22cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0784m (7.84cm).

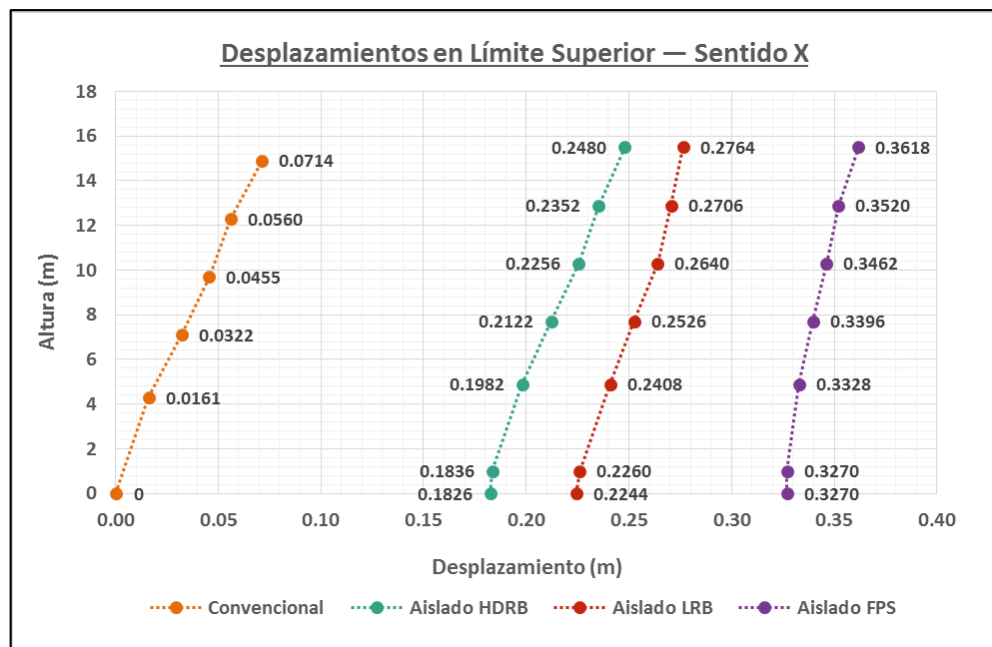
Gráfica N° 75 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Sismo Estático



Fuente: Propia

En el límite superior, los desplazamientos del sentido X son representados en el **Gráfico N°76**, donde los sistemas son dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.3270m en la base y 0.3618m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.2244m en la base junto a 0.2764m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1826m en base y 0.2480m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0348m (3.48cm), 0.0520m (5.20cm) y 0.0654m (6.54cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0714m (7.14cm).

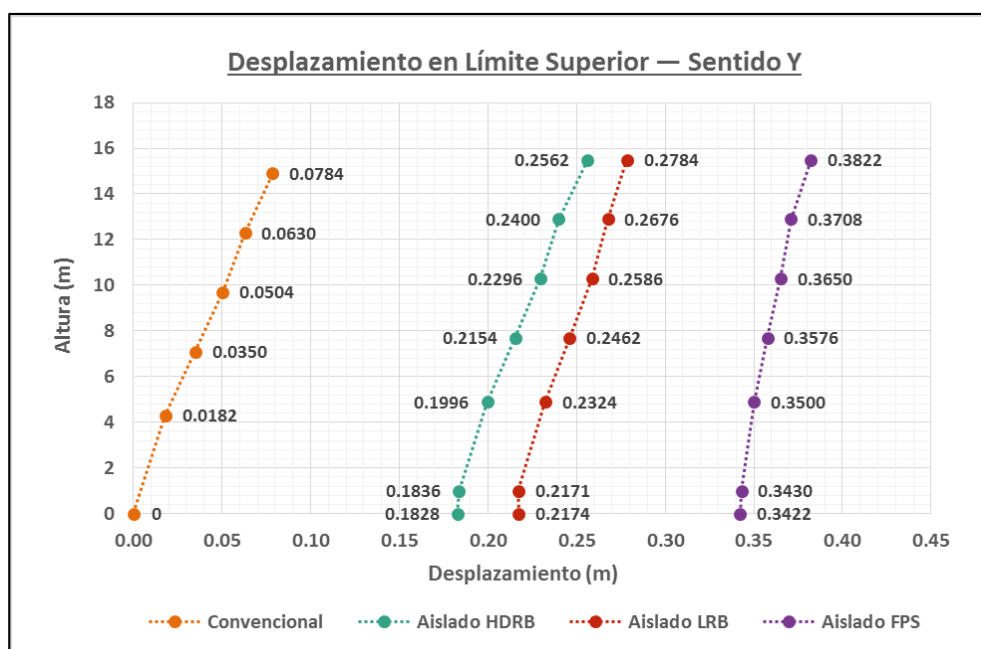
Gráfica N° 76 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Sismo Estático



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 77** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS, con 0.3422m y 0.3822m. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.2174m en la base junto a 0.2784m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1828m en base y 0.2562m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0400m (4.00cm), 0.0610m (6.10cm) y 0.0734m (7.34cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0784m (7.84cm).

Gráfica N° 77 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Sismo Estático

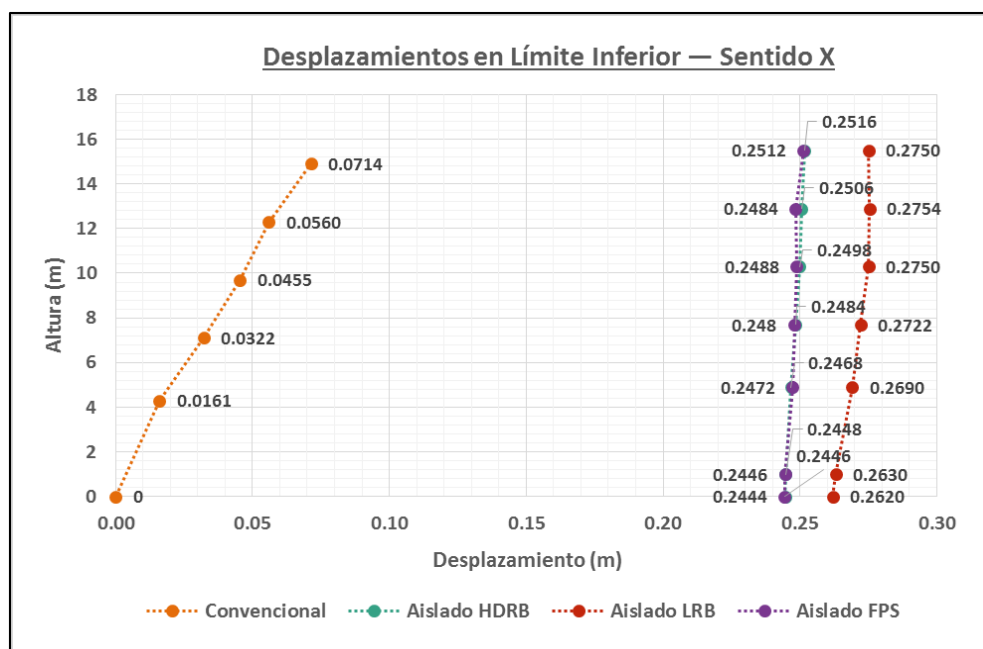


Fuente: Propia

4.1.5.2. Análisis de Sismo Dinámico

En el límite inferior, los desplazamientos del sentido X son representados en el **Gráfico N°78**, donde los sistemas son dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema LRB con 0.2620m en la base y 0.2750m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2446m en la base junto a 0.2516m en el último nivel, y el sistema FPS con 0.2444m en base y 0.2512m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0130m (1.30cm), 0.0070m (0.70cm) y 0.0068m (0.68cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0714m (7.14cm).

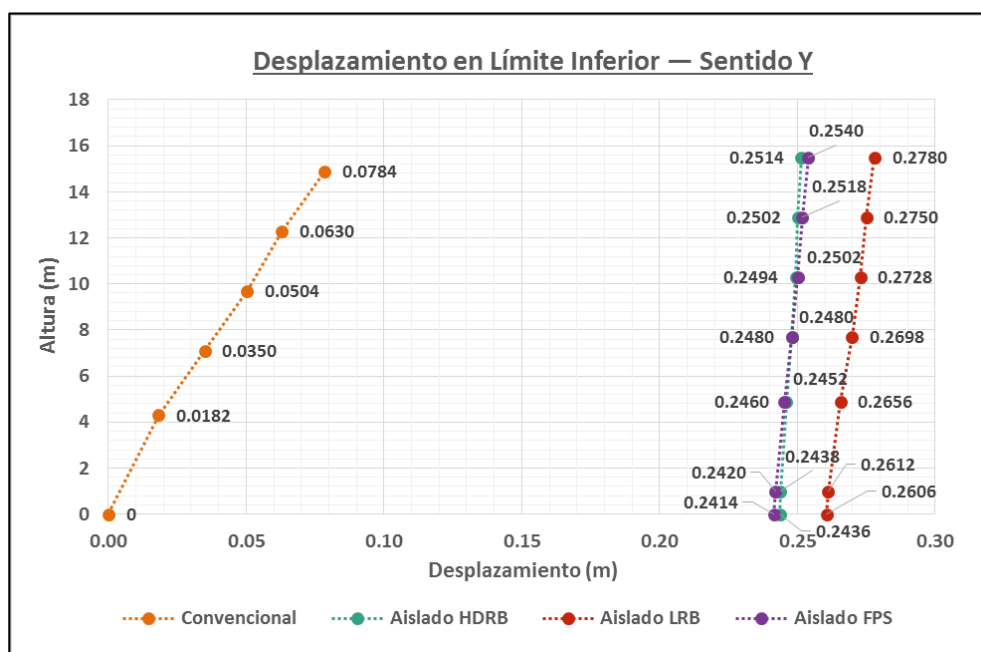
Gráfica N° 78 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 79** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema LRB, con 0.2606m y 0.2780m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2436m en la base junto a 0.2540m en el último nivel, y el sistema FPS con 0.2414m en base y 0.2514m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0102m (1.02cm), 0.0068m (0.068cm) y 0.0100m (1.00cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0784m (7.84cm).

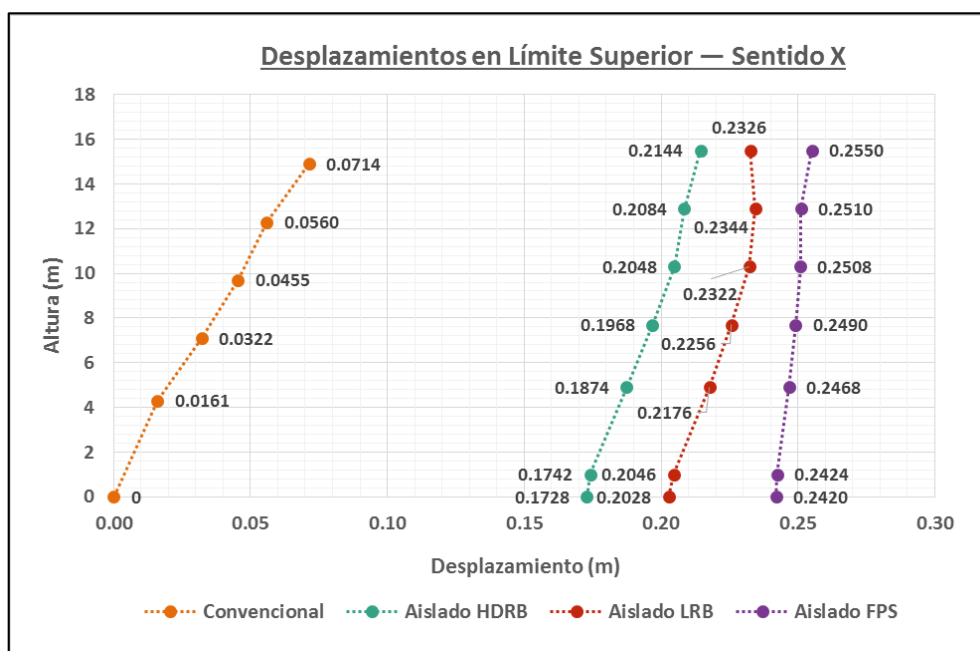
Gráfica N° 79 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

En el límite superior, los desplazamientos del sentido X son representados en el **Gráfico N°80**, donde los sistemas son dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.2420m en la base y 0.2550m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.2028m en la base junto a 0.2326m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1728m en base y 0.2144m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0130m (1.30cm), 0.0298m (2.98cm) y 0.0416m (4.16cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0714m (7.14cm).

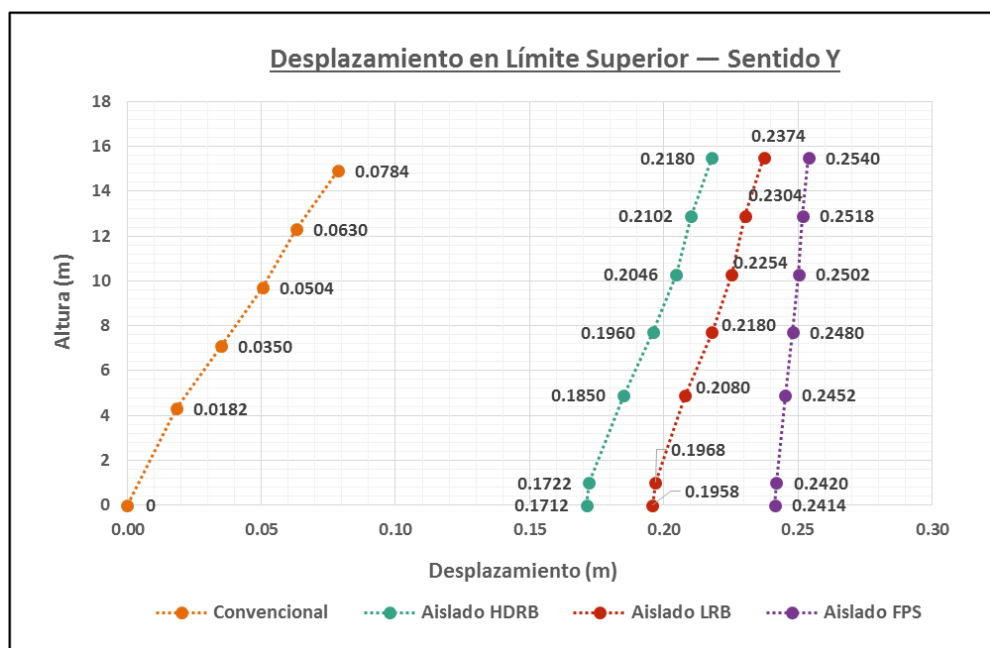
Gráfica N° 80 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 81** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.2414m y 0.2540m. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.1958m en la base junto a 0.2374m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1712m en base y 0.2180m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0126m (1.26cm), 0.0416m (4.16cm) y 0.0468m (4.68cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.0784m (7.84cm).

Gráfica N° 81 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Sismo Dinámico



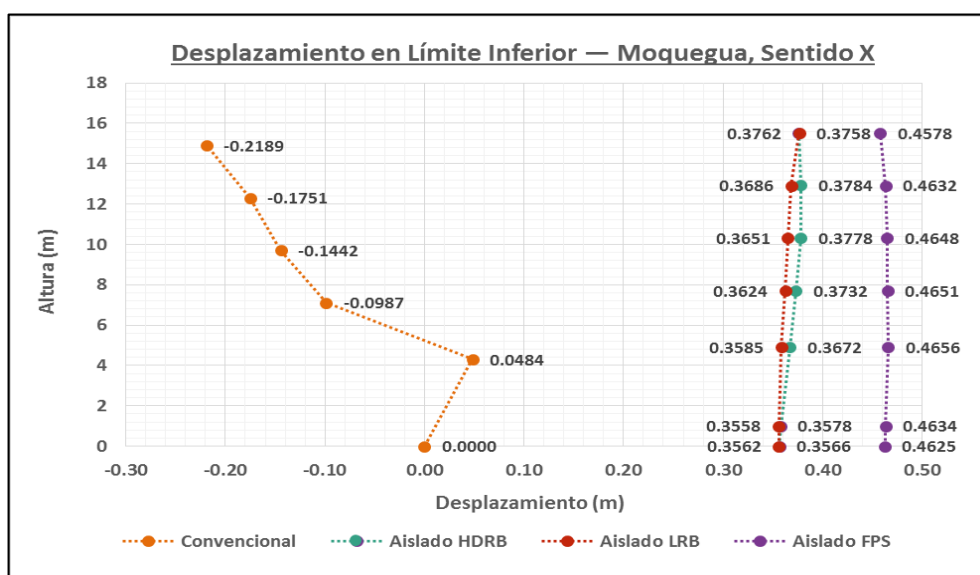
Fuente: Propia

4.1.5.3. Análisis de Espectro de Respuesta

El análisis de espectro de respuesta es realizado en base a los cinco registros sísmicos seleccionados. Por orden de antigüedad, estos son Moquegua (2005), Ica (2007), Lima (2013), Pastaza (2019) y Lagunas (2019).

Para el sismo de Moquegua en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 82** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.4625m en la base y 0.4578m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.3566m en la base junto a 0.3758m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.3562m en base y 0.3762m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0047m (0.47cm), 0.0192m (1.92cm) y 0.0200m (2.00cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2189m (21.89cm) en la dirección opuesta.

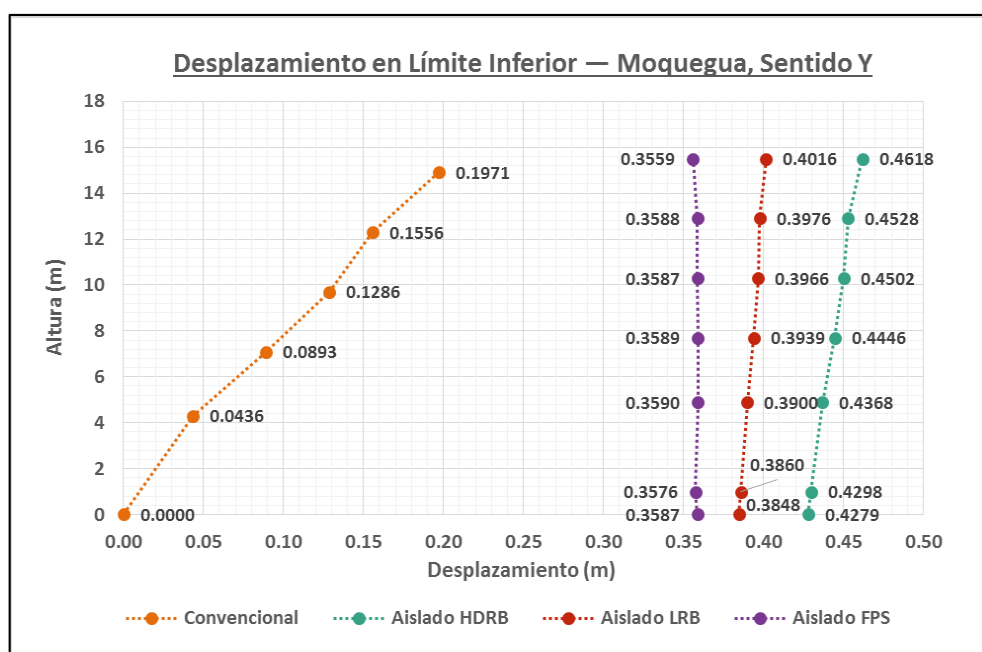
Gráfica N° 82 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 83** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema HDRB con 0.4279m y 0.4618m. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.3848m en la base junto a 0.4016m en el último nivel, y el sistema FPS con 0.3587m en base y 0.3559m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0339m (3.39cm), 0.0168 (1.68cm) y 0.0028m (0.28cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1971m (19.71cm).

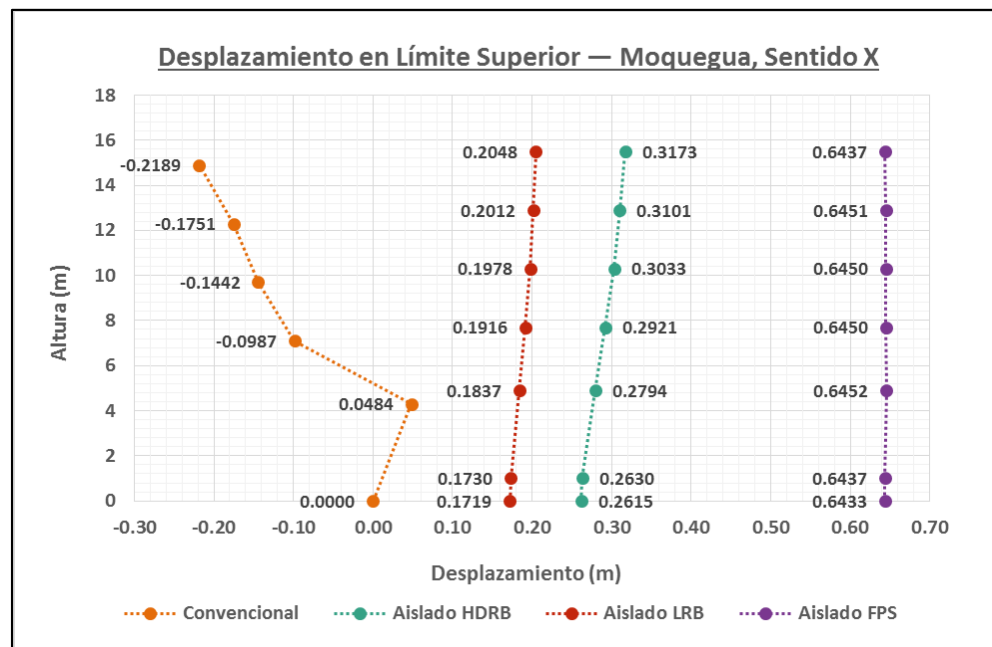
Gráfica N° 83 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

Para el sismo de Moquegua en límite superior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 84** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.6433m en la base y 0.6437m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2615m en la base junto a 0.3175m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.1719m en base y 0.2048m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0004m (0.04cm), 0.0558m (5.58cm) y 0.0329m (3.29cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2189m (21.89cm) en la dirección opuesta.

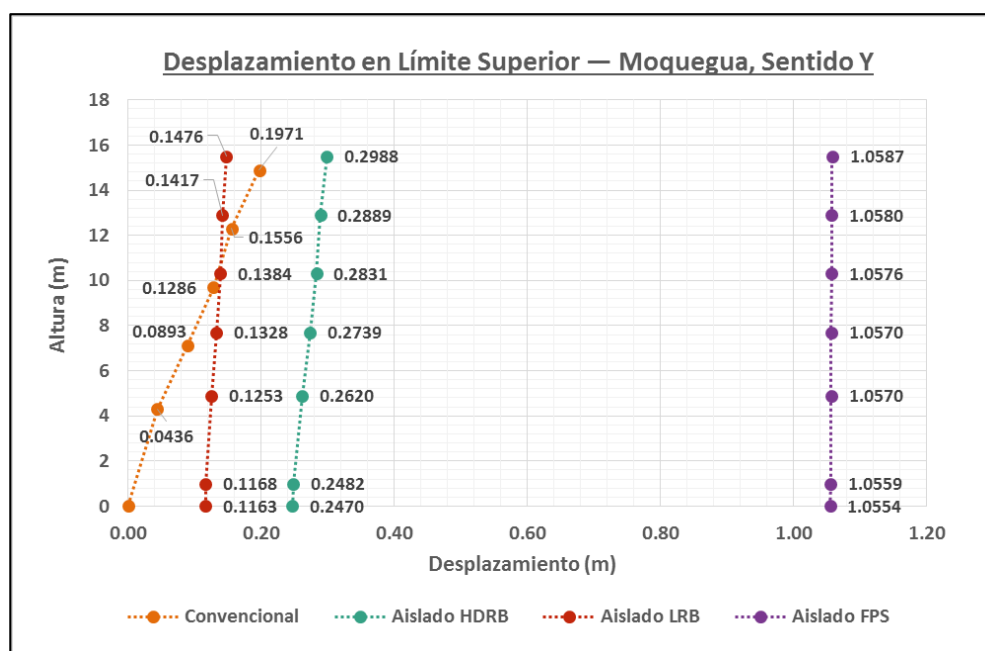
Gráfica N° 84 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 85** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 1.0554m y 1.0587m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2470m en la base junto a 0.2988m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.1163m en base y 0.1971m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0033m (0.33cm), 0.0518m (5.18cm) y 0.0313m (3.13cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1971m (19.71cm).

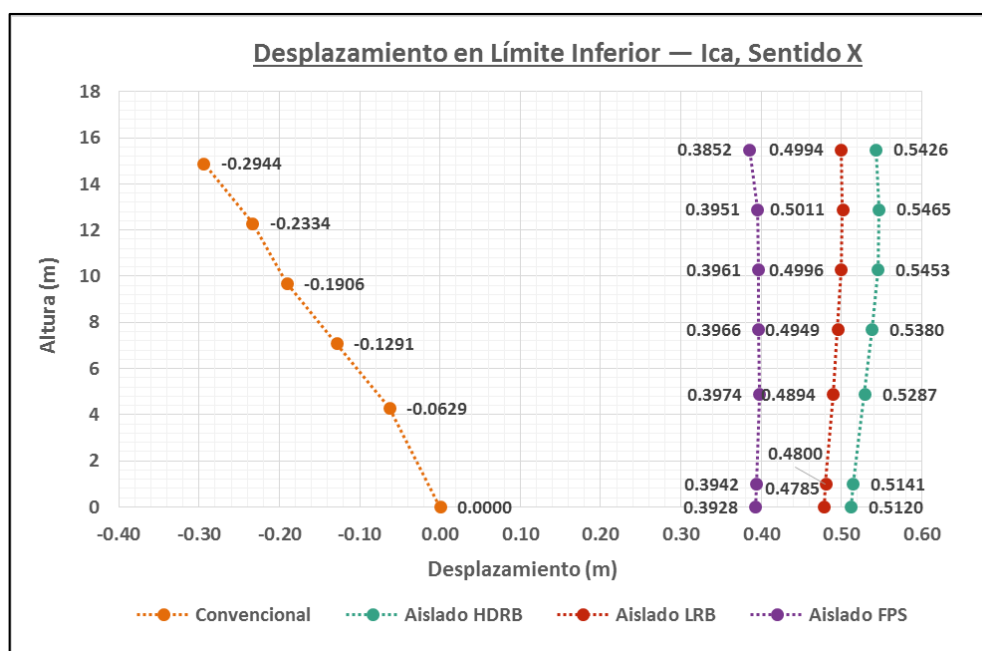
Gráfica N° 85 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

Para el sismo de Ica en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 86** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema HDRB con 0.5120m en la base y 0.5426m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.4785m en la base y 0.4994m en el último nivel, y el sistema FPS con 0.3928m en base y 0.3852m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0306m (3.06cm), 0.0209m (2.09cm) y 0.0076m (0.76cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2944m (29.44cm) en la dirección opuesta.

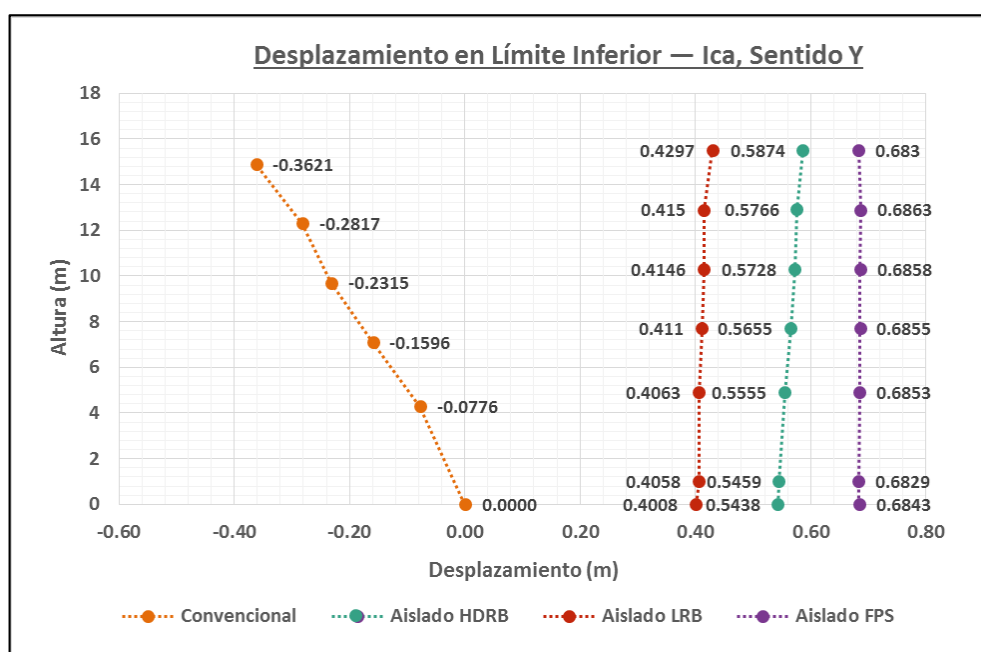
Gráfica N° 86 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Ica (2007)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 87** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.6843m y 0.6830m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.5438m en la base junto a 0.5874m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.4008m en base y 0.4297m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0013m (0.13cm), 0.0436 (4.36cm) y 0.0289m (2.89cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.3621m (36.21cm).

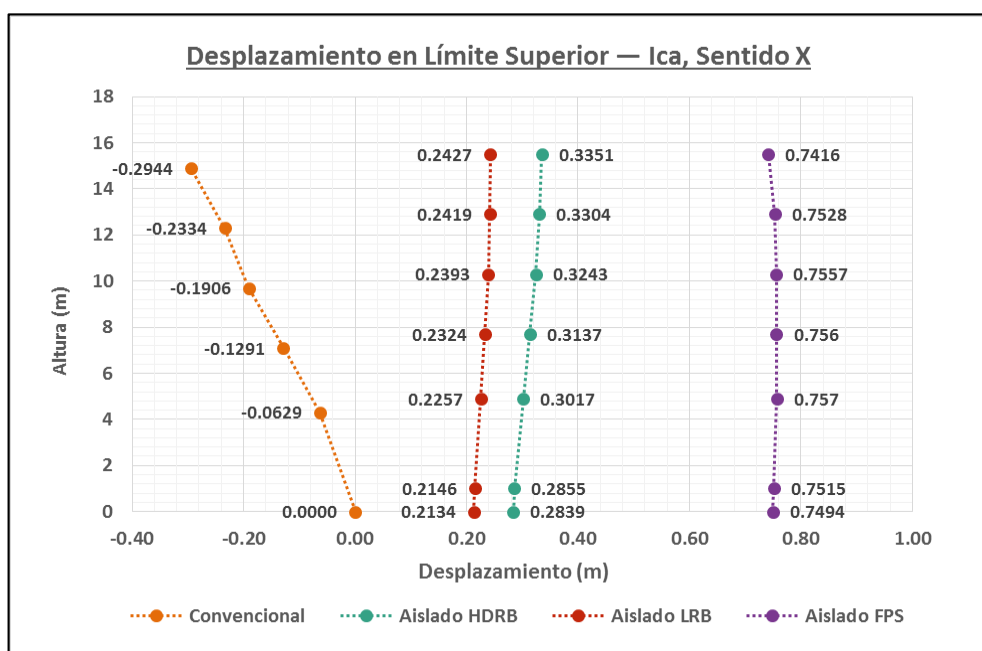
Gráfica N° 87 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Ica (2007)



Fuente: Propia

Para el sismo de Ica en límite superior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 88** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.7494m en la base y 0.7416m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2839m en la base junto a 0.3351m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.2134m en base y 0.2427m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0078m (0.78cm), 0.0712m (7.12cm) y 0.0293m (2.93cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2944m (29.44cm) en la dirección opuesta.

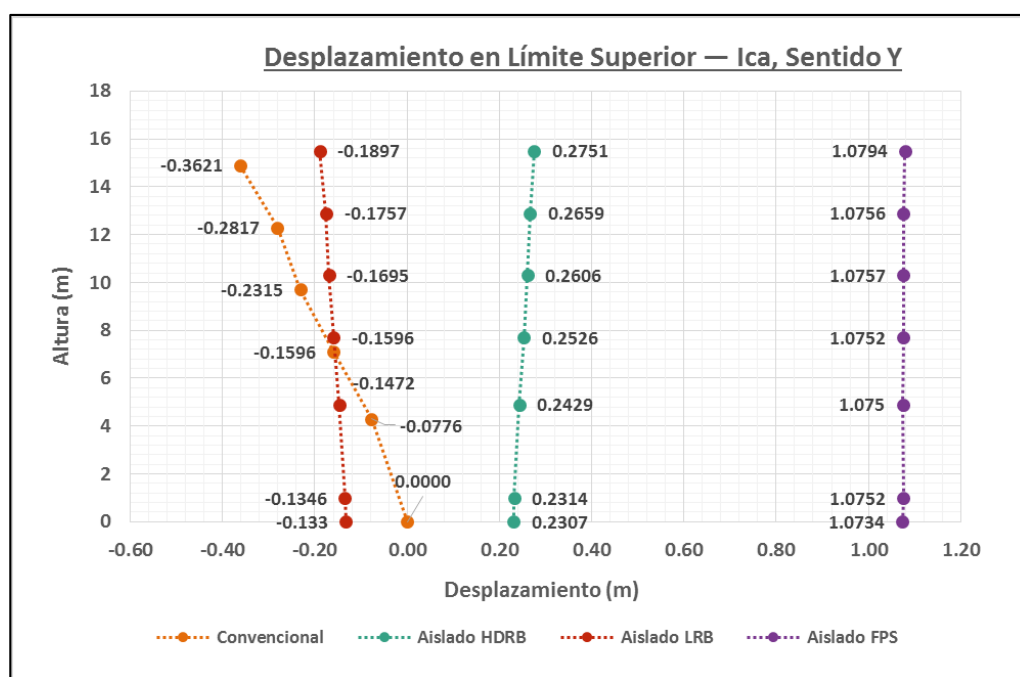
Gráfica N° 88 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Ica (2007)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 89** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 1.0734m y 1.0794m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2307m en la base junto a 0.2751m en el último nivel, y el sistema LRB con -0.1330m en base y -0.1897m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0060m (0.60cm), 0.0444m (4.44cm) y 0.0567m (5.67cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.3621m (36.21cm).

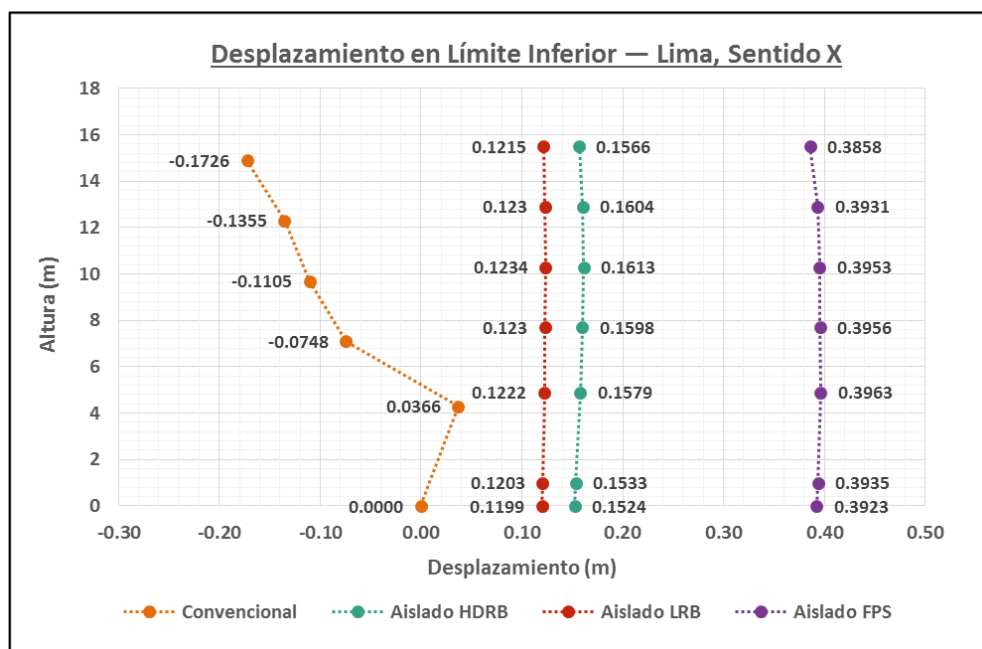
Gráfica N° 89 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Ica (2007)



Fuente: Propia

Para el sismo de Ica en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 90** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.3923m en la base y 0.3858m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.1524m en la base junto a 0.1566m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1199m en base y 0.1215m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0065m (0.65cm), 0.0042m (0.42cm) y 0.0025m (0.25m) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1726m (17.26cm) en la dirección opuesta.

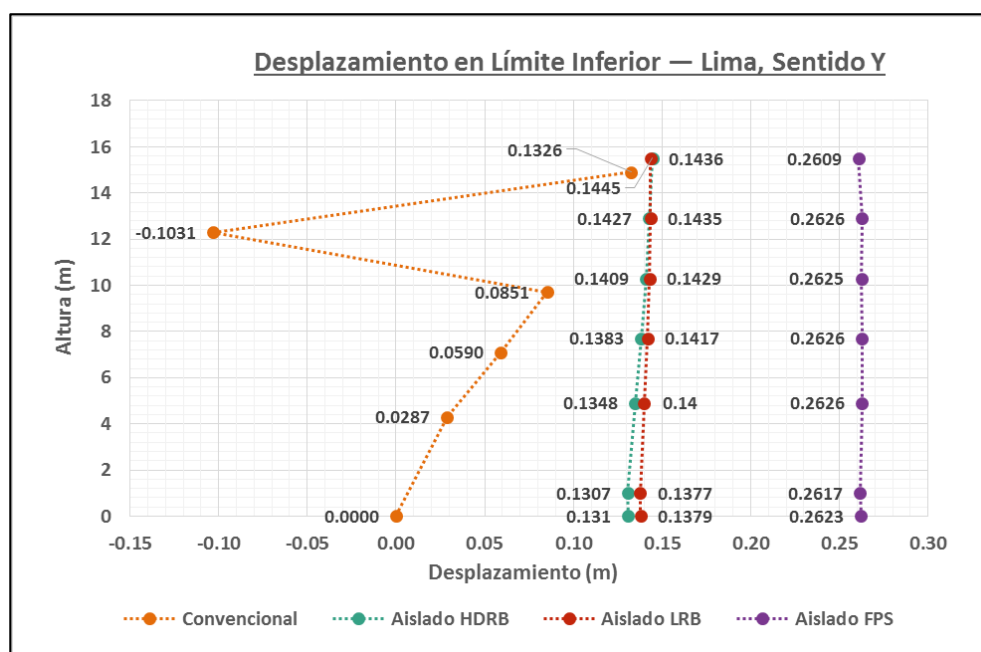
Gráfica N° 90 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Lima (2013)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 91** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.2623m y 0.2609m. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.1379m en la base junto a 0.1436m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.1310m en base y 0.1326m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0014m (0.14cm), 0.0087m (0.87cm) y 0.0016m (0.16cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1326m (13.26cm).

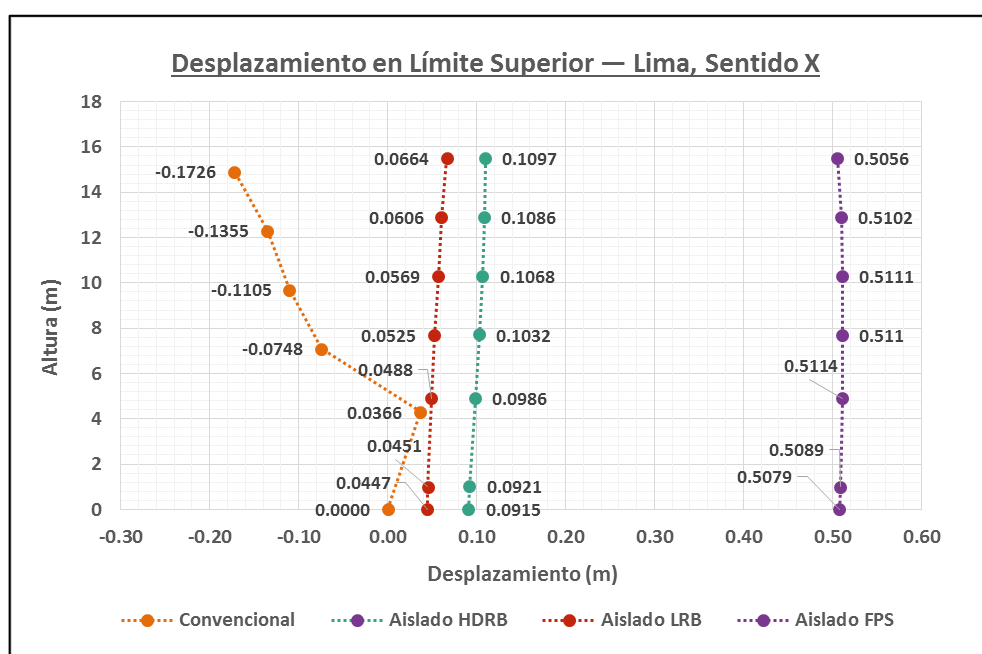
Gráfica N° 91 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Lima (2013)



Fuente: Propia

Para el sismo de Ica en límite superior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 92** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.5079m en la base y 0.5056m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.0915m en la base junto a 0.1097m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.0447m en base y 0.0664m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0023m (0.23cm), 0.0182m (1.82cm) y 0.0217m (2.17cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1726m (17.26cm) en la dirección opuesta.

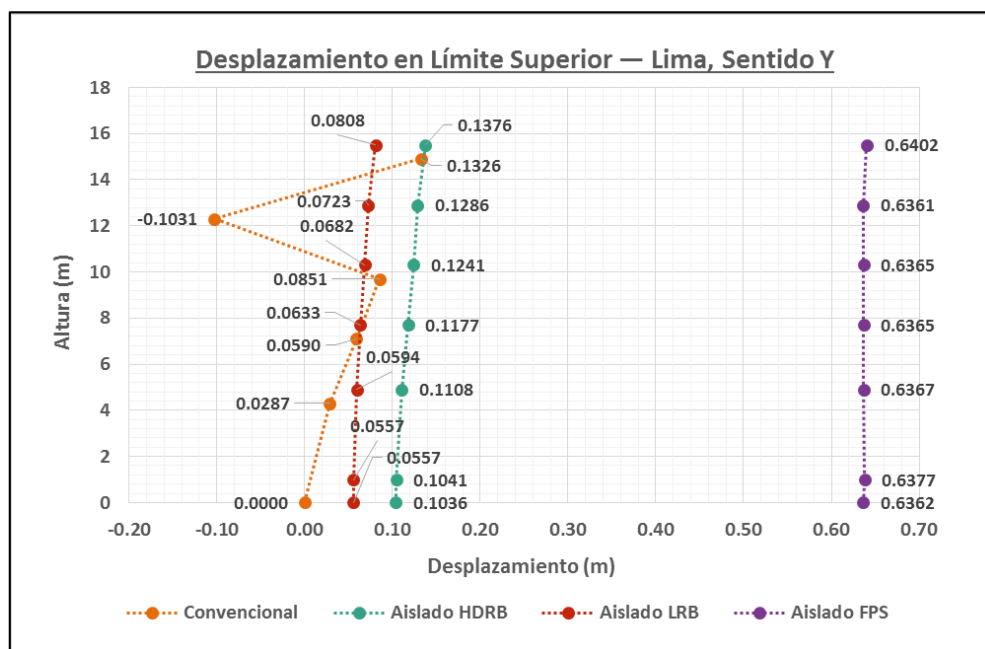
Gráfica N° 92 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Lima (2013)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 93** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.6362m y 0.6402m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.1036m en la base junto a 0.1376m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.0557m en base y 0.0808m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0040m (0.40cm), 0.0034m (0.34cm) y 0.0251m (2.51cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.3621m (36.21cm).

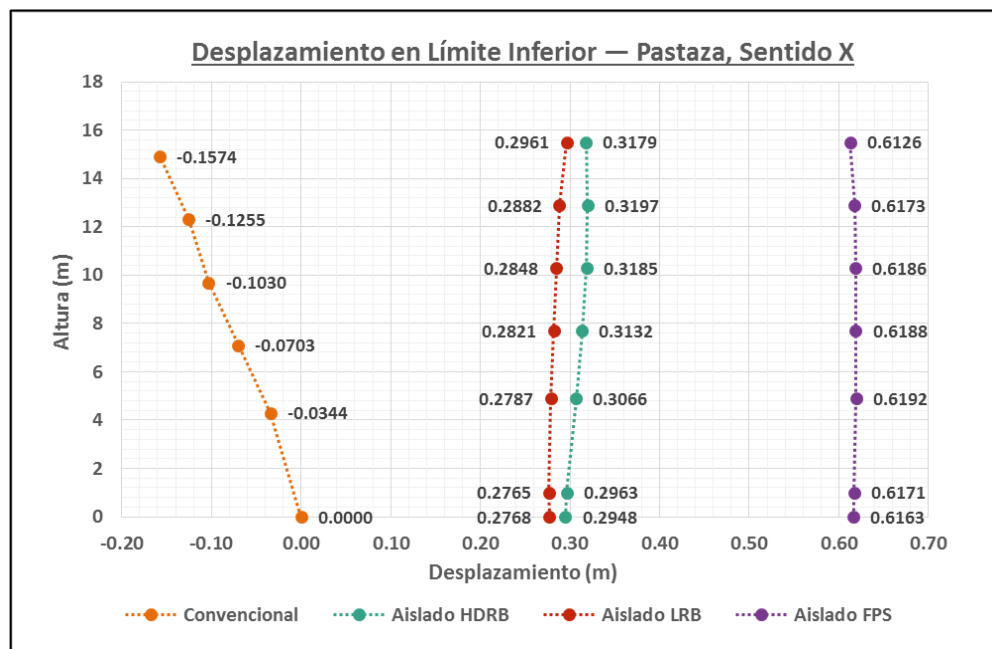
Gráfica N° 93 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Lima (2013)



Fuente: Propia

Para el sismo de Pastaza en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 94** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.6163m en la base y 0.6126m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.2948m en la base junto a 0.3179m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.2768m en base y 0.2961m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0037m (0.37cm), 0.0231m (2.31cm) y 0.0193m (1.93cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1574m (15.74cm) en la dirección opuesta.

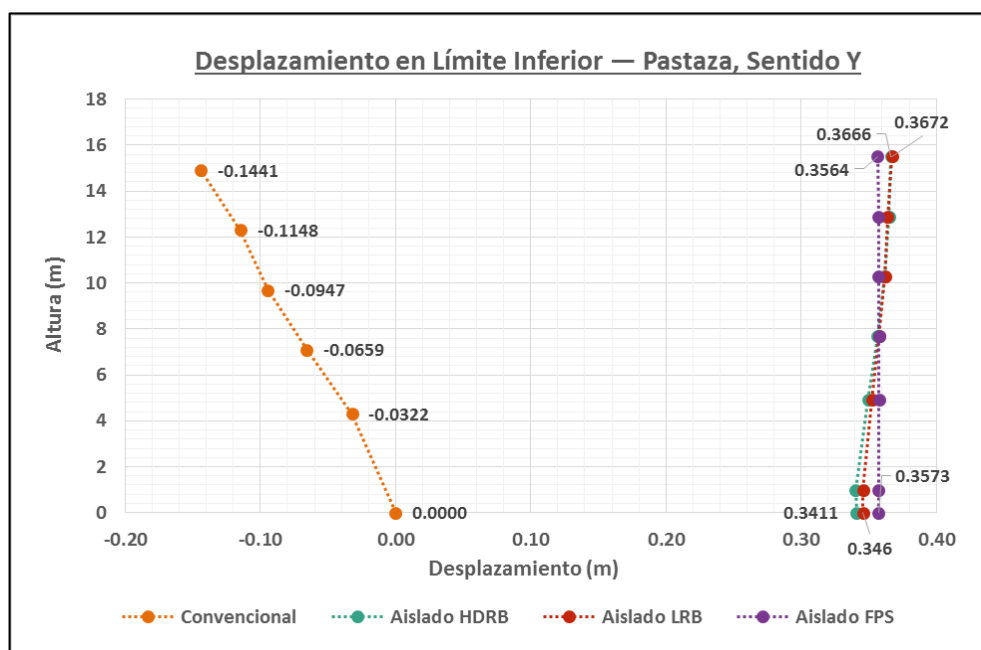
Gráfica N° 94 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 95** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.3573m y 0.3564m. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.3460m en la base junto a 0.3672m en el último nivel, y el sistema HDRB con 0.3411m en base y 0.3666m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0040m (0.40cm), 0.0034m (0.34cm) y 0.0251m (2.51cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1441m (14.41cm).

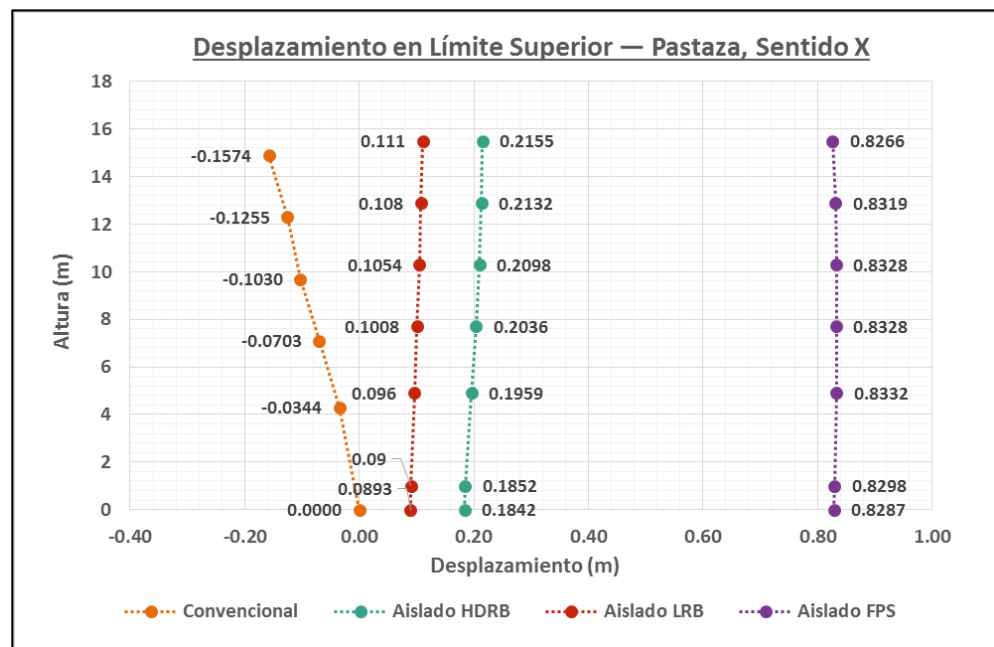
Gráfica N° 95 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

Para el sismo de Pastaza en límite superior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 96** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.8287m en la base y 0.8266m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.1842m en la base junto a 0.2155m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.0893m en base y 0.1110m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0021m (0.21cm), 0.0313m (3.13cm) y 0.0217m (2.17cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1574 (15.74cm) en la dirección opuesta.

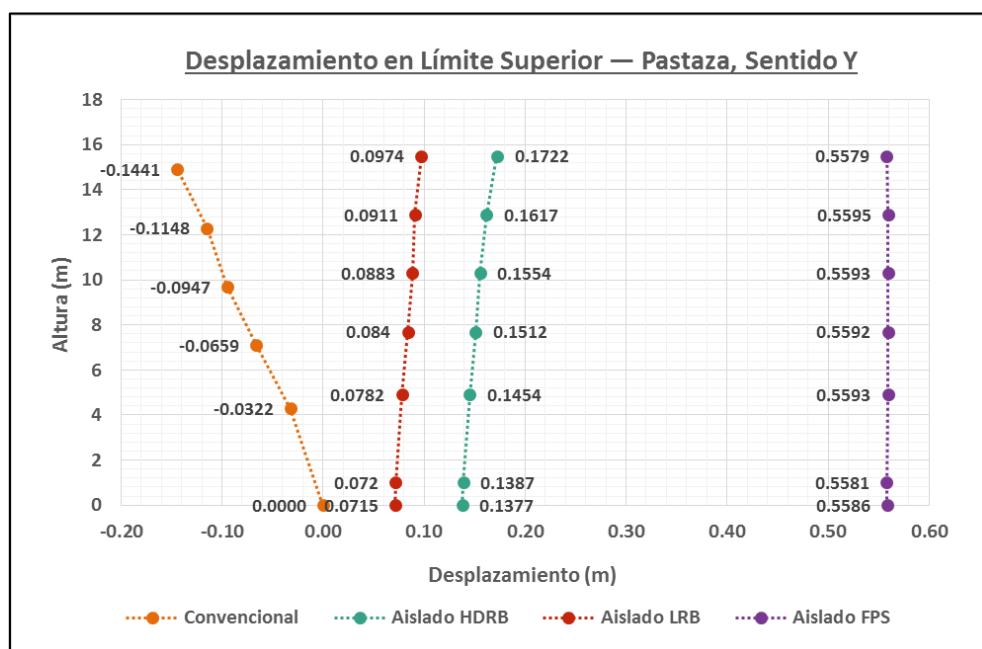
Gráfica N° 96 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 97** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 0.5586m y 0.5579m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB, con 0.1377m en la base junto a 0.1722m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.0715m en base y 0.0974m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0007m (0.07cm), 0.0345m (3.45cm) y 0.0259m (2.59cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1441m (14.41cm).

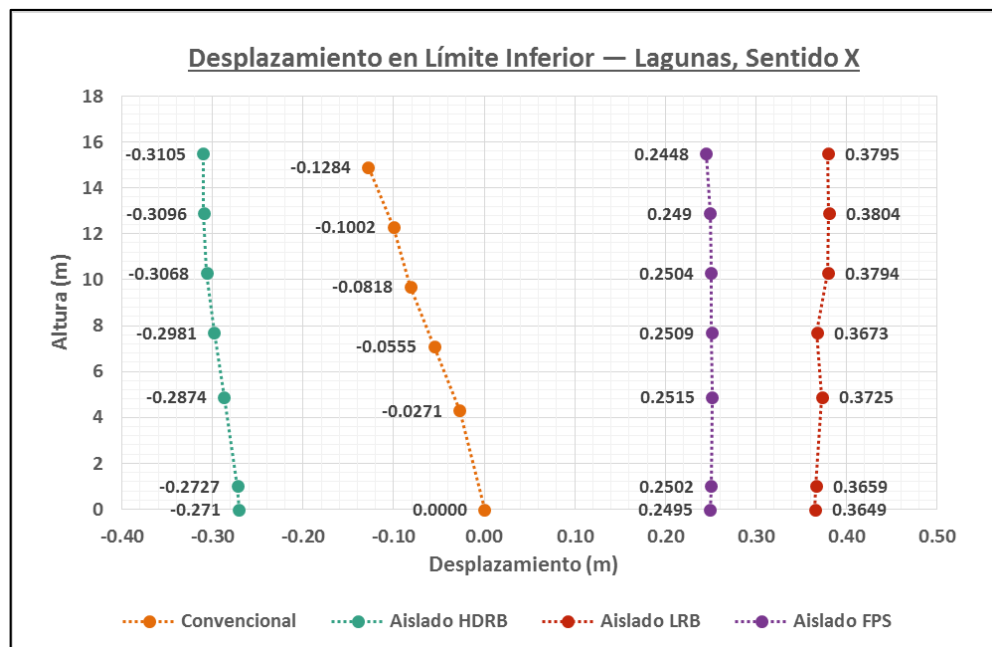
Gráfica N° 97 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

Para el sismo de Lagunas en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 98** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema LRB con 0.3795m en la base y 0.3649m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB en el sentido opuesto, con -0.2710m en la base junto a -0.3105m en el último nivel, y el sistema FPS con 0.2495m en base y 0.2448m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0146m (1.46cm), 0.0395m (3.95cm) y 0.0047m (0.47cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1284m (12.84cm) en la dirección opuesta.

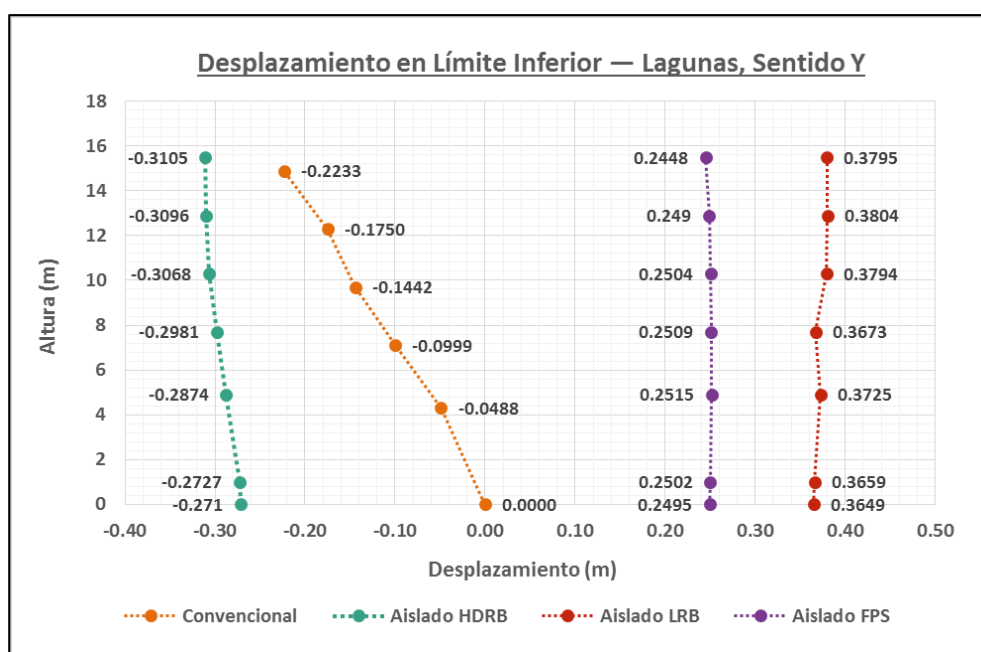
Gráfica N° 98 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 99** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema LRB con 0.3649m y 0.3795m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB en el sentido opuesto, con -0.2710m en la base junto a -0.3105m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.2495m en base y 0.2448m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0146m (1.46cm), 0.0395m (3.95cm) y 0.0047m (0.47cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2233m (22.33cm).

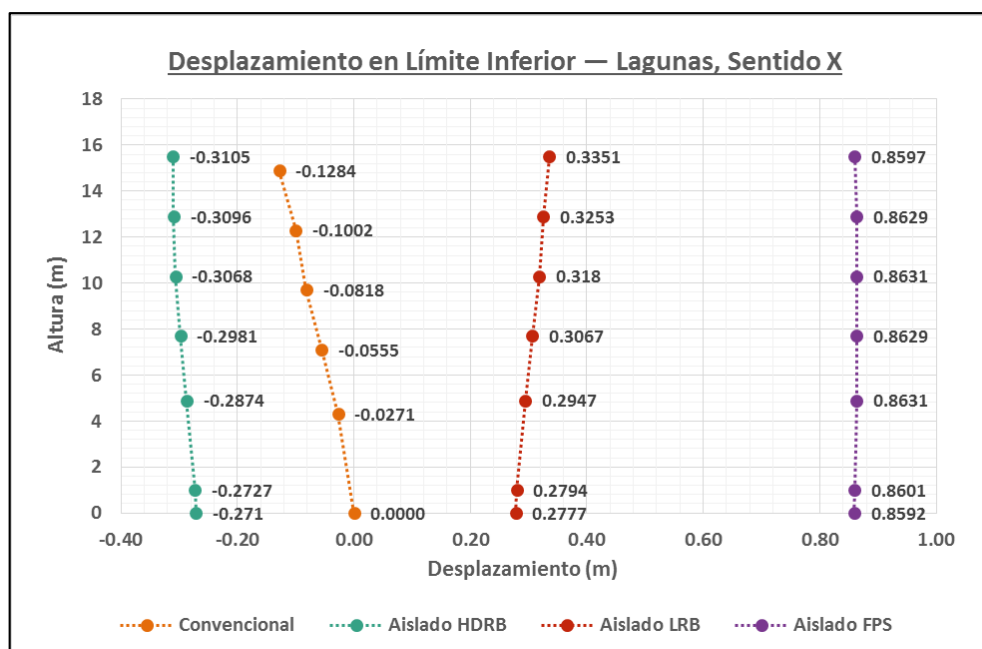
Gráfica N° 99 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

Para el sismo de Lagunas en límite inferior, los desplazamientos del sentido X son indicados en el **Gráfico N° 100** dispuestos de mayor a menor. Los mayores desplazamientos son del sistema FPS con 0.8592m en la base y 0.8597m en el último nivel. Los siguientes en el orden son el sistema LRB, con 0.2777m en la base junto a 0.3351m en el último nivel, y el sistema HDRB en el sentido opuesto con -0.2710m en base y -0.3105m en el último nivel. La diferencia desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0005m (0.005cm), 0.0574m (5.74cm) y 0.0395m (3.95cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.1284m (12.84cm) en la dirección opuesta.

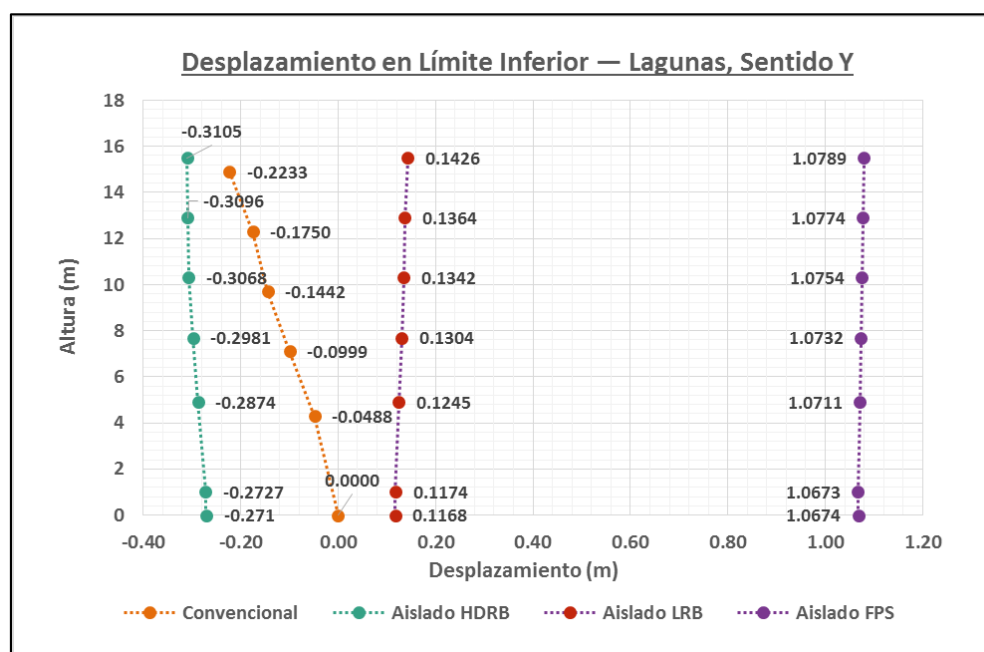
Gráfica N° 100 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

Similar, el **Gráfico N° 101** corresponde a los desplazamiento en el sentido Y. En este caso, los mayores desplazamientos de base y máximo ocurren también en el sistema FPS con 1.0673m y 1.0789m. Los siguientes en el orden son el sistema HDRB en el sentido opuesto, con -0.2710m en la base junto a -0.3105m en el último nivel, y el sistema LRB con 0.1168m en base y 0.1426m en el último nivel. La diferencia de desplazamientos base – máximo de los sistemas son de 0.0115m (1.15cm), 0.0258m (2.58cm) y 0.0395m (3.95cm) respectivamente. Estas son menores a la calculada entre la base y altura máxima de una edificación convencional cuyo resultado es de 0.2233m (22.33cm).

Gráfica N° 101 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

De las comparaciones descritas anteriormente se puede observar que existe una tendencia entre las tecnologías de aislamiento usadas en cada caso. Las **Tabla N° 234** y **Tabla N° 235** resume los desplazamientos obtenidos en cada sistema para el límite inferior. En estas tablas se identifican a los dos sistemas con los mayores resultados por tipo de análisis sísmico destacando los del sistema FPS. No obstante, su exceso de amortiguamiento representa un peligro para la estructura, por lo que es excluida del análisis. En base a lo mencionado, el segundo sistema con mayor presencia es el LRB especialmente en el sentido Y como es resaltado en la tabla.

Tabla N° 234 – Desplazamientos en la base Sentido X por sistema en Límite Inferior

Desplazamiento en la base por sistema en Límite Inferior — Sentido X				
	HDRB (mm)	LRB (mm)	FPS (mm)	Mayor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.1826	0.2244	0.3270	FPS
Sismo Dinámico	0.2446	0.2620	0.2444	LRB
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.3566	0.3562	0.4625	FPS
Sismo Ica	0.5120	0.4785	0.3928	HDRB
Sismo Lima	0.1524	0.1199	0.3923	FPS
Sismo Pastaza	0.2948	0.2768	0.6163	FPS
Sismo Lagunas	-0.2710	0.3649	0.2495	LRB

Fuente: Propia

Tabla N° 235 – Desplazamientos en la base Sentido Y por sistema en Límite Inferior

Desplazamiento en la base por sistema en Límite Inferior — Sentido Y				
	HDRB (mm)	LRB (mm)	FPS (mm)	Mayor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.1826	0.2244	0.3270	FPS
Sismo Dinámico	0.2436	0.2606	0.2414	LRB
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.4279	0.3848	0.3587	HDRB
Sismo Ica	0.5438	0.4008	0.6843	FPS
Sismo Lima	0.1310	0.1379	0.2623	FPS
Sismo Pastaza	0.3411	0.3460	0.3573	FPS
Sismo Lagunas	-0.2710	0.3649	0.2495	LRB

Fuente: Propia

Por otro lado, las **Tabla N° 236** y **Tabla N° 237** reúnen los resultados de desplazamiento en el límite superior. Los valores destacados son los mismos que en el caso anterior, resaltando a los dos sistemas con los máximos desplazamientos en cada tipo de análisis sísmico. En estas el sistema FPS presenta igualmente los mayores desplazamientos, solo seguido por el sistema HDRB en la mayoría de las comparaciones. Pero debido a que el aislamiento FPS queda excluido del análisis, el HDRB es el que cuenta con los máximos desplazamientos para ambos sentidos.

Tabla N° 236 – Desplazamientos en la base Sentido X por sistema en Límite Superior

Desplazamiento en la base por sistema en Límite Superior — Sentido X				
	HDRB (mm)	LRB (mm)	FPS (mm)	Mayor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.5104	0.4662	0.6836	FPS
Sismo Dinámico	0.1728	0.2028	0.2420	FPS
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.2615	0.1719	0.6433	FPS
Sismo Ica	0.2839	0.2134	0.7494	FPS
Sismo Lima	0.0915	0.0447	0.5079	FPS
Sismo Pastaza	0.1842	0.0893	0.8287	FPS
Sismo Lagunas	-0.2710	0.2777	0.8592	FPS

Fuente: Propia

Tabla N° 237 – Desplazamientos en la base Sentido Y por sistema en Límite Superior

Desplazamiento en la base por sistema en Límite Superior — Sentido Y				
	HDRB (mm)	LRB (mm)	FPS (mm)	Mayor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.1828	0.2174	0.3422	FPS
Sismo Dinámico	0.1712	0.1958	0.2414	FPS
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.2470	0.1163	1.0554	FPS
Sismo Ica	0.2307	-0.1330	1.0734	FPS
Sismo Lima	0.1036	0.0557	0.6362	FPS
Sismo Pastaza	0.1377	0.0715	0.5586	FPS
Sismo Lagunas	-0.2710	0.1168	1.0674	FPS

Fuente: Propia

El sistema FPS sobresale en ambos límites siendo reemplazado por los segundos en el orden, LRB en inferior y HDRB en superior. La comparación se realizó por cada sentido y límite en independiente pero, al contabilizar el total, la tecnología con los mayores desplazamientos en la base es la HDRB.

4.1.6. Derivas de Entrepiso

4.1.6.1. Análisis de Sismo Estático

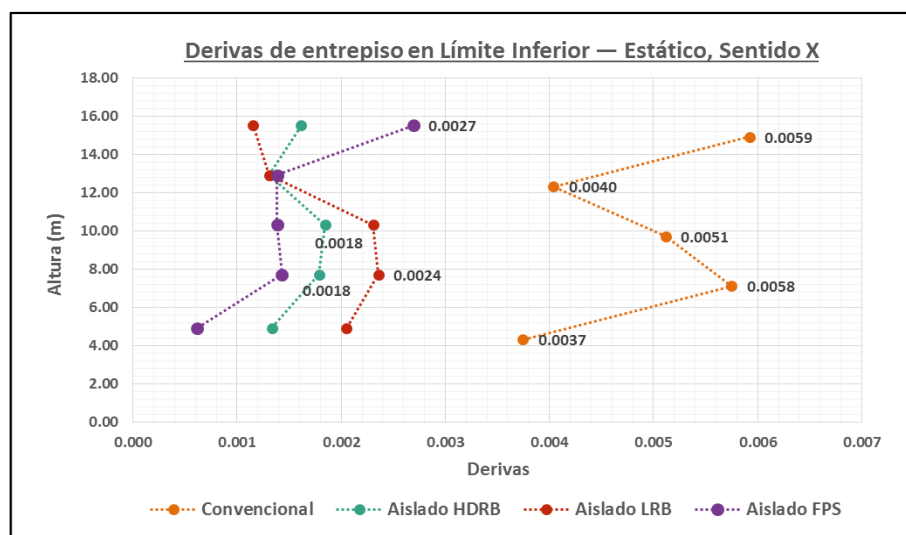
En el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 238** y expresados en **Gráfica N° 102**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0059 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema HDRB con 0.0018 en el segundo y tercer entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y FPS en orden de menor a mayor.

Tabla N° 238 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Estático, Sentido X				
Nivel	H (m)	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0013	0.0021	0.0006
2	2.80	0.0018	0.0024	0.0014
3	2.60	0.0018	0.0023	0.0014
4	2.60	0.0013	0.0013	0.0014
5	2.60	0.0016	0.0012	0.0027

Fuente: Propia

Gráfica N° 102 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Inferior para Sismo Estático



Fuente: Propia

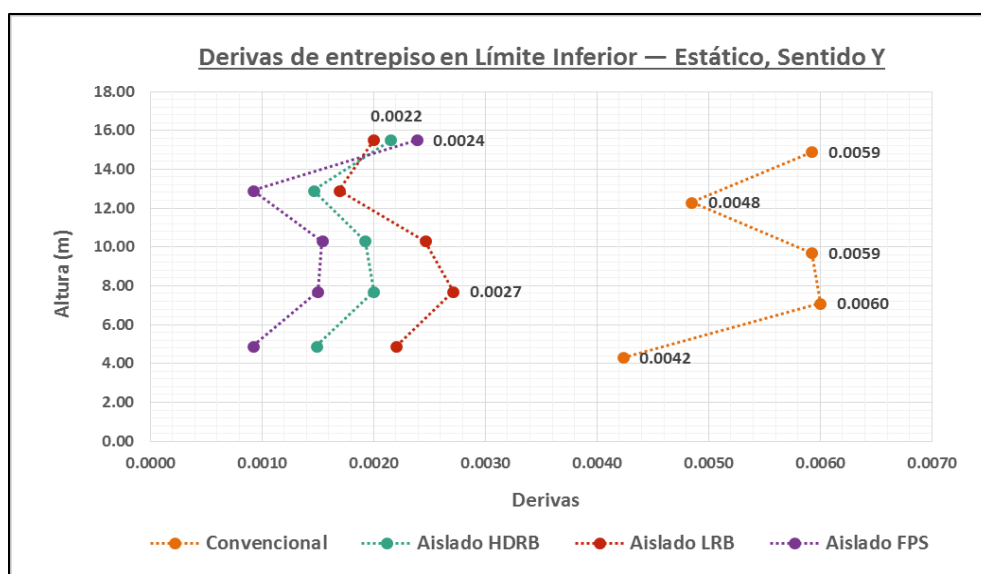
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 239** y expresados en la **Gráfica N° 103**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0060 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema HDRB con 0.0022 en el tercer entrepiso. Seguidos por los sistemas FPS y LRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 239 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Estático, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0015	0.0022	0.0009
2	2.80	0.0020	0.0027	0.0015
3	2.60	0.0019	0.0025	0.0015
4	2.60	0.0015	0.0017	0.0009
5	2.60	0.0022	0.0020	0.0024

Fuente: Propia

Gráfica N° 103 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Inferior para Sismo Estático



Fuente: Propia

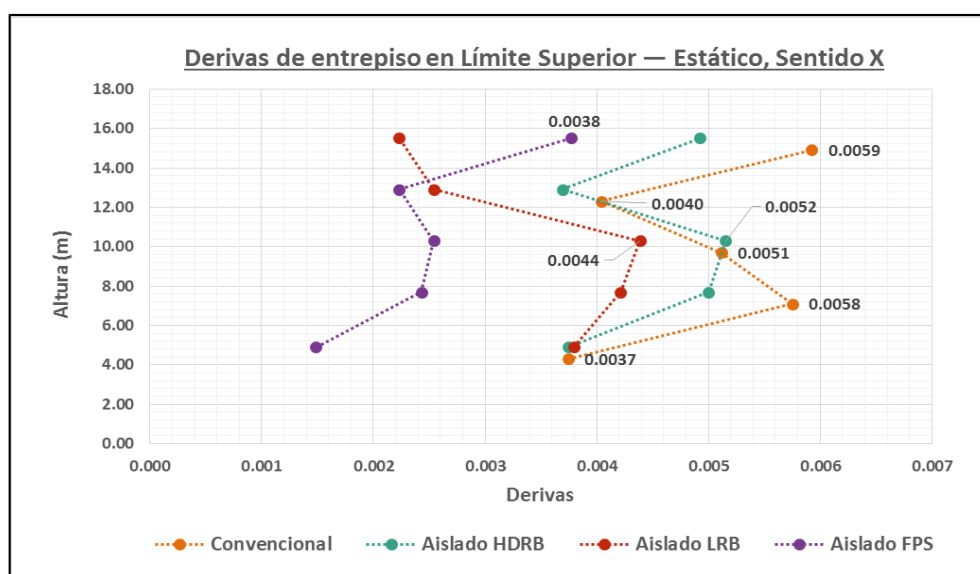
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 240** y expresados en **Gráfica N° 104**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0059 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0038 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 240 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Estático, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0037	0.0038	0.0015
2	2.80	0.0050	0.0042	0.0024
3	2.60	0.0052	0.0044	0.0025
4	2.60	0.0037	0.0025	0.0022
5	2.60	0.0049	0.0022	0.0038

Fuente: Propia

Gráfica N° 104 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Superior para Sismo Estático



Fuente: Propia

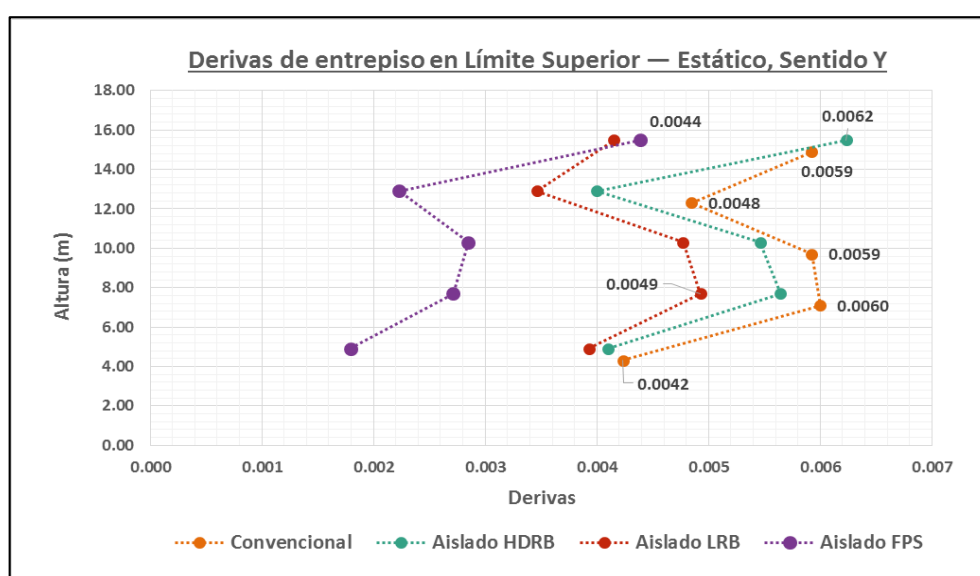
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 241** y expresados en la **Gráfica N° 105**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0060 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0044 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 241 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Estático, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0041	0.0039	0.0018
2	2.80	0.0056	0.0049	0.0027
3	2.60	0.0055	0.0048	0.0028
4	2.60	0.0040	0.0035	0.0022
5	2.60	0.0062	0.0042	0.0044

Fuente: Propia

Gráfica N° 105 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Superior para Sismo Estático



Fuente: Propia

4.1.6.2. Análisis de Sismo Dinámico

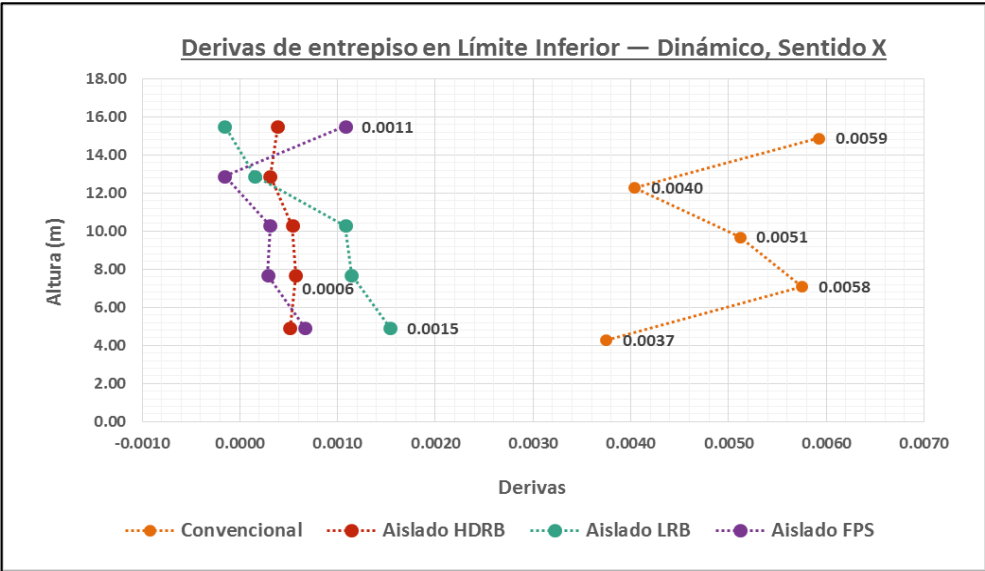
En el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 242** y expresados en **Gráfica N° 106**. En ambos, lo tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0059 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema LRB con 0.0006 en el segundo entrepiso. Seguidos por los sistemas FPS y HDRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 242 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Dinámico, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0005	0.0015	0.0007
2	2.80	0.0006	0.0011	0.0003
3	2.60	0.0005	0.0011	0.0003
4	2.60	0.0003	0.0002	-0.0002
5	2.60	0.0004	-0.0002	0.0011

Fuente: Propia

Gráfica N° 106 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Inferior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

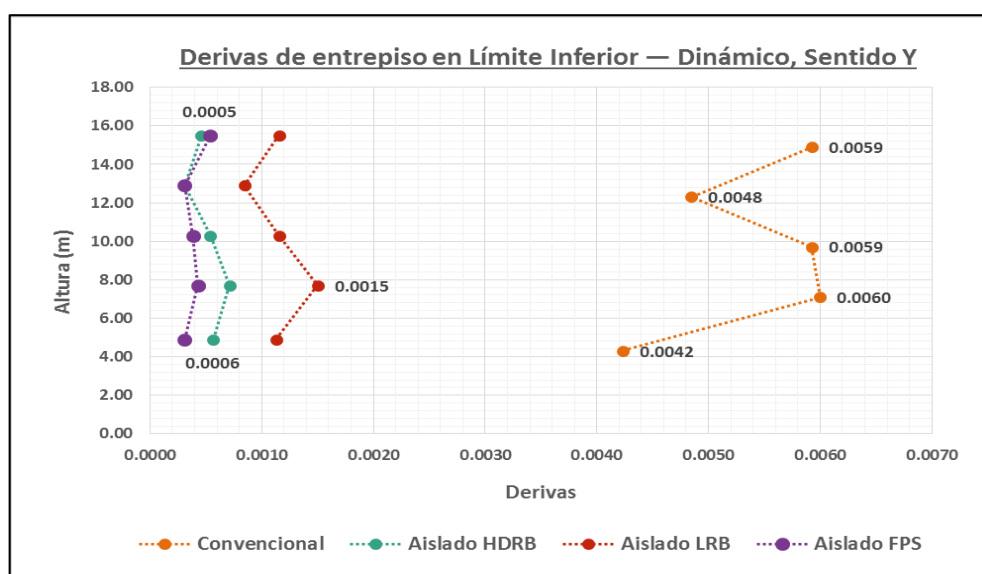
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 243** y expresados en la **Gráfica N° 107**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0060 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0005 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 243 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Dinámico, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0006	0.0011	0.0003
2	2.80	0.0007	0.0015	0.0004
3	2.60	0.0005	0.0012	0.0004
4	2.60	0.0003	0.0008	0.0003
5	2.60	0.0005	0.0012	0.0005

Fuente: Propia

Gráfica N° 107 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Inferior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

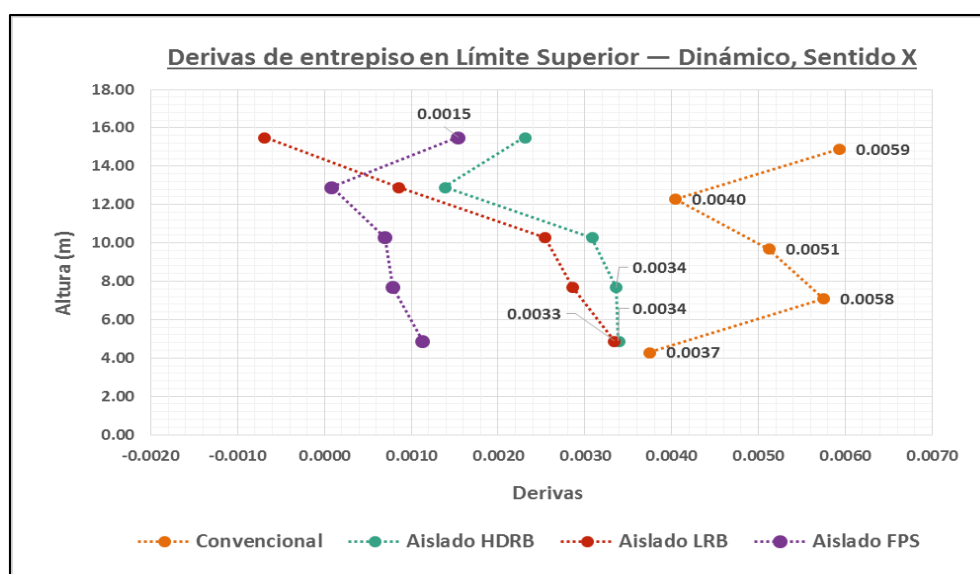
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 244** y expresados en **Gráfica N° 108**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0059 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0015 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 244 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Dinámico, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0034	0.0033	0.0011
2	2.80	0.0034	0.0029	0.0008
3	2.60	0.0031	0.0025	0.0007
4	2.60	0.0014	0.0008	0.0001
5	2.60	0.0023	-0.0007	0.0015

Fuente: Propia

Gráfica N° 108 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Superior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

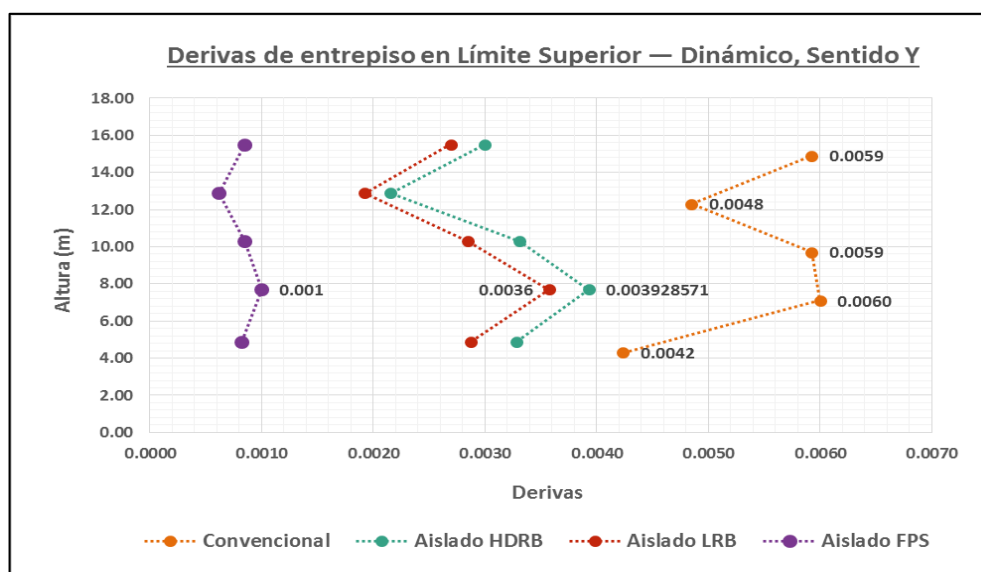
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 245** y expresados en la **Gráfica N° 109**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0060 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0010 en el segundo entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 245 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Dinámico, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0033	0.0029	0.0008
2	2.80	0.0039	0.0036	0.0010
3	2.60	0.0033	0.0028	0.0008
4	2.60	0.0022	0.0019	0.0006
5	2.60	0.0030	0.0027	0.0008

Fuente: Propia

Gráfica N° 109 – Distribución de Derivas sentido Y de límite superior para Sismo Dinámico



Fuente: Propia

4.1.6.3. Análisis de Espectro de Respuesta

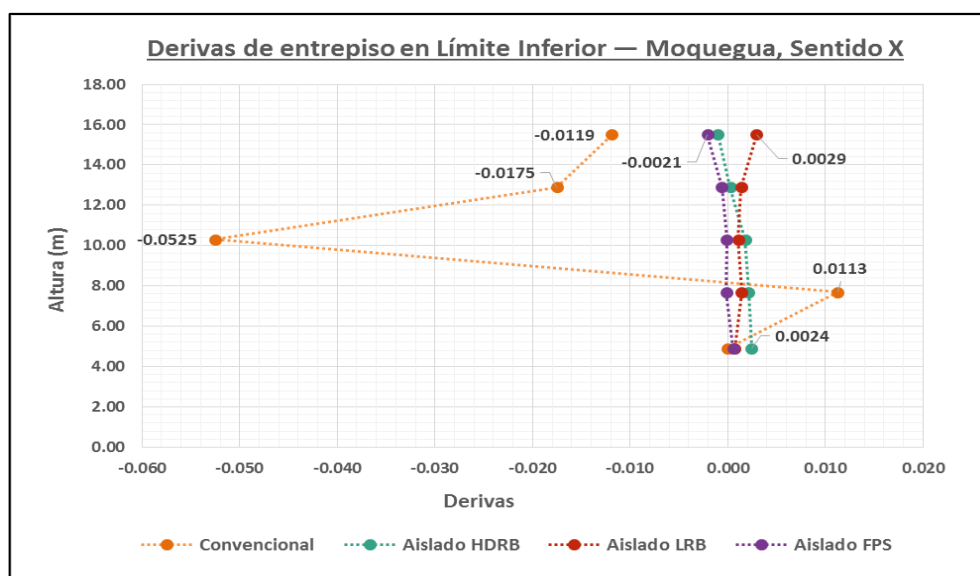
Para el sismo en Moquegua en el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 246** y expresados en **Gráfica N° 110**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0525 en el tercer entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0021 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 246 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Moquegua, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0024	0.0007	0.0006
2	2.80	0.0021	0.0014	-0.0002
3	2.60	0.0018	0.0010	-0.0001
4	2.60	0.0002	0.0013	-0.0006
5	2.60	-0.0010	0.0029	-0.0021

Fuente: Propia

Gráfica N° 110 – Distribución de Derivas sentido X de límite inferior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

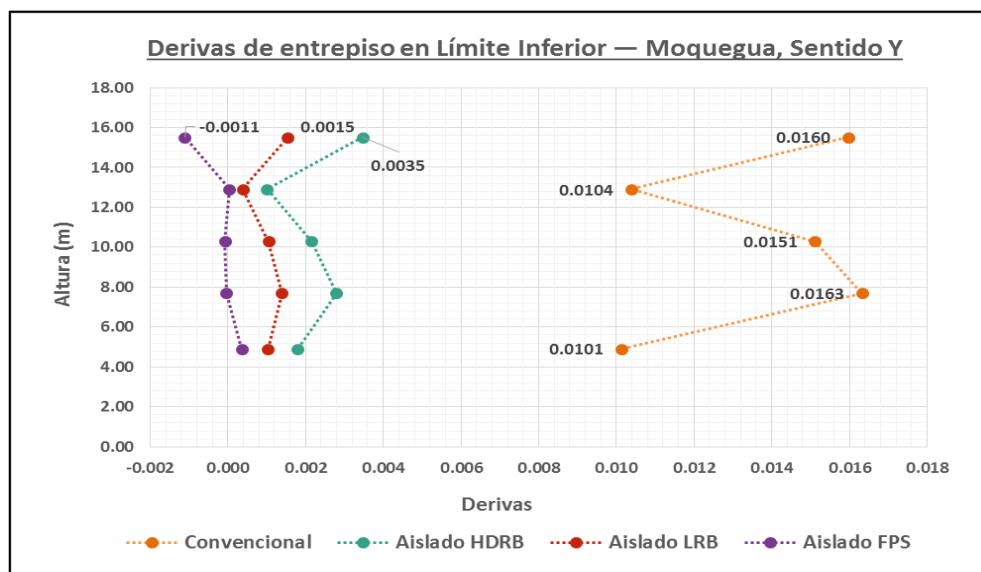
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 247** y expresados en la **Gráfica N° 111**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0160 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0011 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 247 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Moquegua, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0018	0.0010	0.0004
2	2.80	0.0028	0.0014	0.0000
3	2.60	0.0022	0.0010	-0.0001
4	2.60	0.0010	0.0004	0.0000
5	2.60	0.0035	0.0015	-0.0011

Fuente: Propia

Gráfica N° 111 – Distribución de Derivas sentido Y de límite inferior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

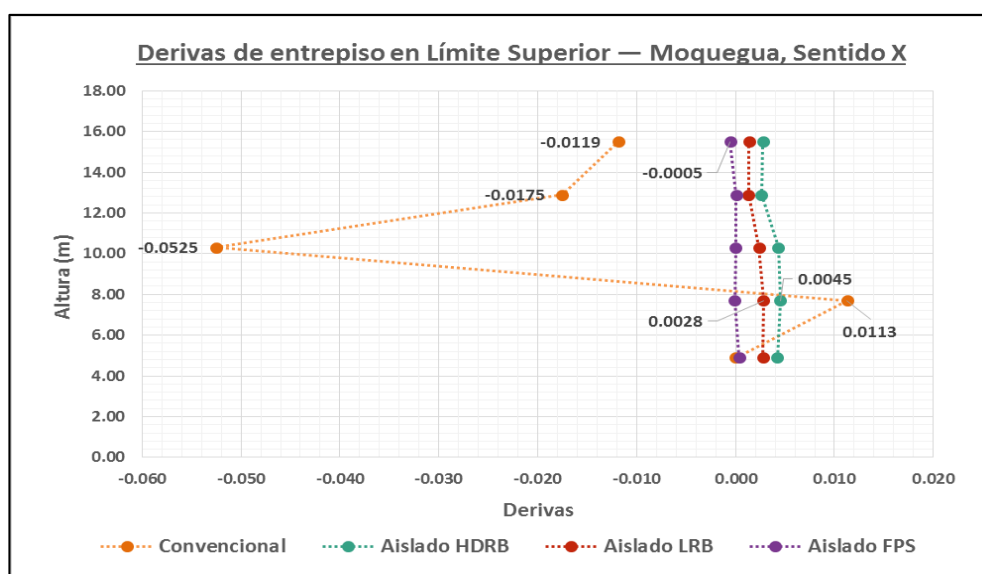
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 248** y expresados en **Gráfica N° 112**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0525 en el tercer entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0005 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 248 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Moquegua, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0042	0.0027	0.0004
2	2.80	0.0045	0.0028	-0.0001
3	2.60	0.0043	0.0024	0.0000
4	2.60	0.0026	0.0013	0.0000
5	2.60	0.0028	0.0014	-0.0005

Fuente: Propia

Gráfica N° 112 – Distribución de Derivas sentido X de límite superior para Moquegua (2005)



Fuente: Propia

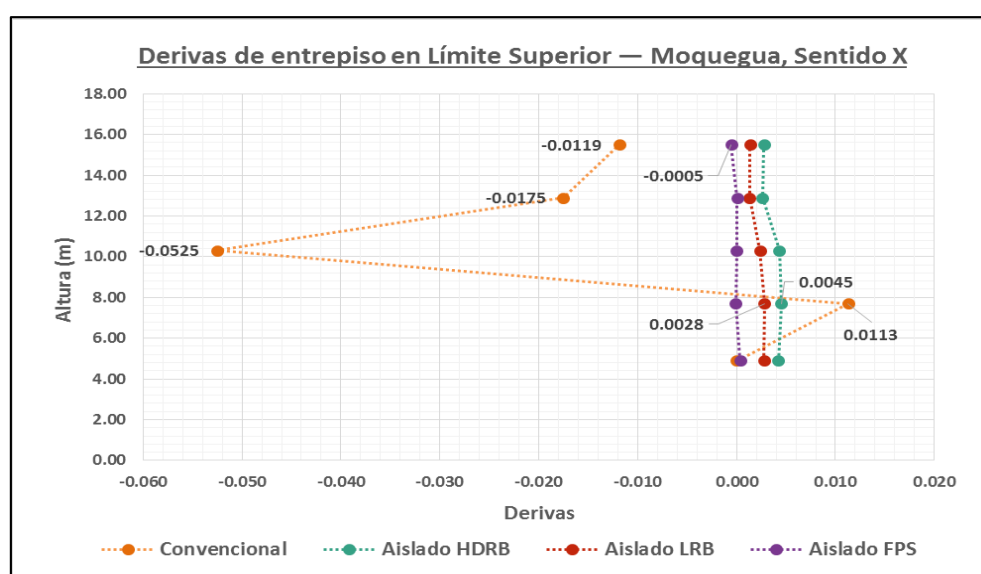
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 249** y expresados en la **Gráfica N° 106**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0160 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0003 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 249 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Moquegua, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0035	0.0022	0.0003
2	2.80	0.0042	0.0027	0.0000
3	2.60	0.0035	0.0022	0.0002
4	2.60	0.0022	0.0013	0.0002
5	2.60	0.0038	0.0023	0.0003

Fuente: Propia

Gráfica N° 113 – Distribución de Derivas sentido Y de límite superior para Moquegua



Fuente: Propia

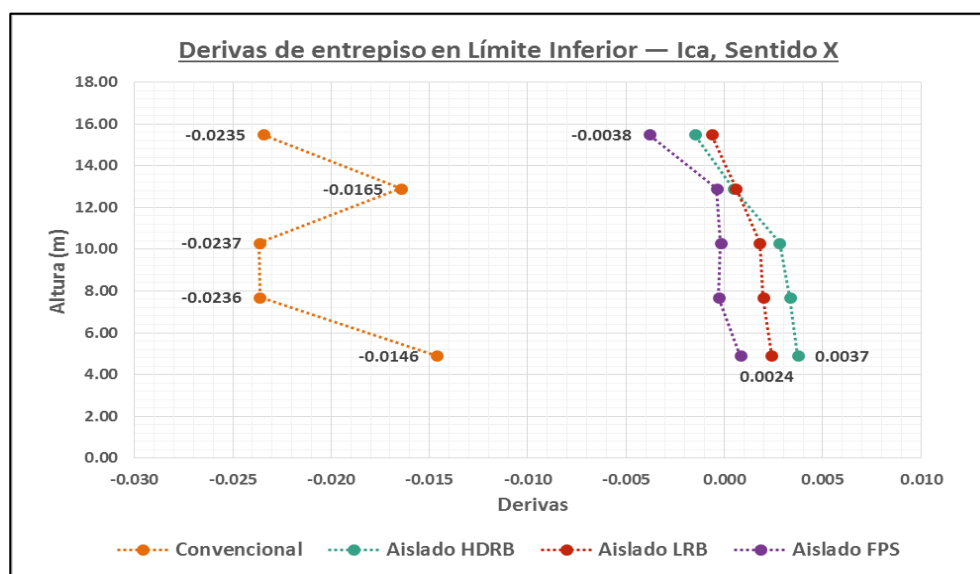
Para el sismo de Ica en el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 250** y expresados en **Gráfica N° 114**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0237 en el tercer entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema LRB con 0.0024 en el primer entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y FPS en orden de menor a mayor.

Tabla N° 250 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Ica, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0037	0.0024	0.0008
2	2.80	0.0033	0.0020	-0.0003
3	2.60	0.0028	0.0018	-0.0002
4	2.60	0.0005	0.0006	-0.0004
5	2.60	-0.0015	-0.0007	-0.0038

Fuente: Propia

Gráfica N° 114 – Distribución de Derivas sentido X de límite inferior para Ica (2007)



Fuente: Propia

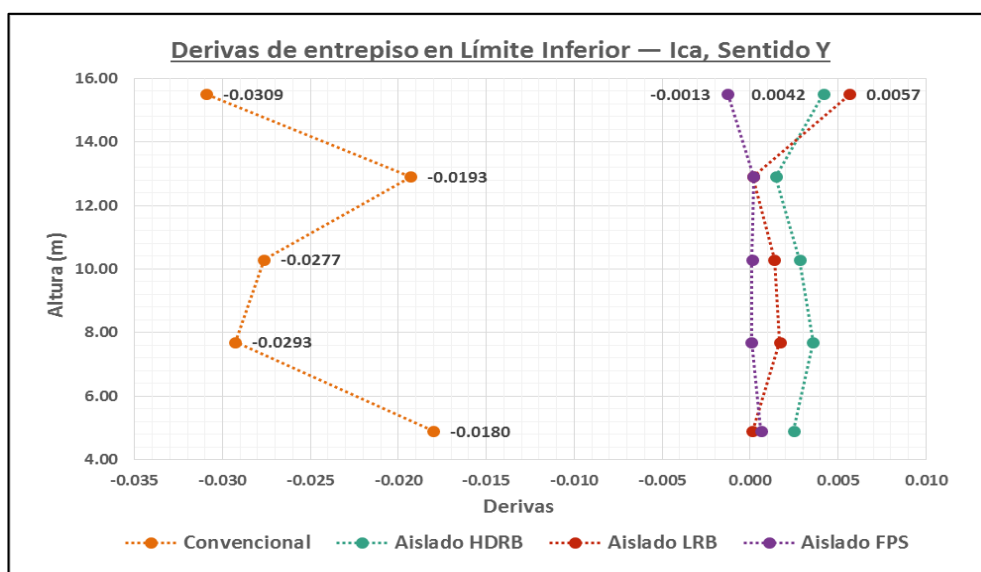
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 251** y expresados en la **Gráfica N° 115**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0309 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0013 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 251 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Ica, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0025	0.0001	0.0006
2	2.80	0.0036	0.0017	0.0001
3	2.60	0.0028	0.0014	0.0001
4	2.60	0.0015	0.0002	0.0002
5	2.60	0.0042	0.0057	-0.0013

Fuente: Propia

Gráfica N° 115 – Distribución de Derivas sentido X de límite inferior para Ica (2007)



Fuente: Propia

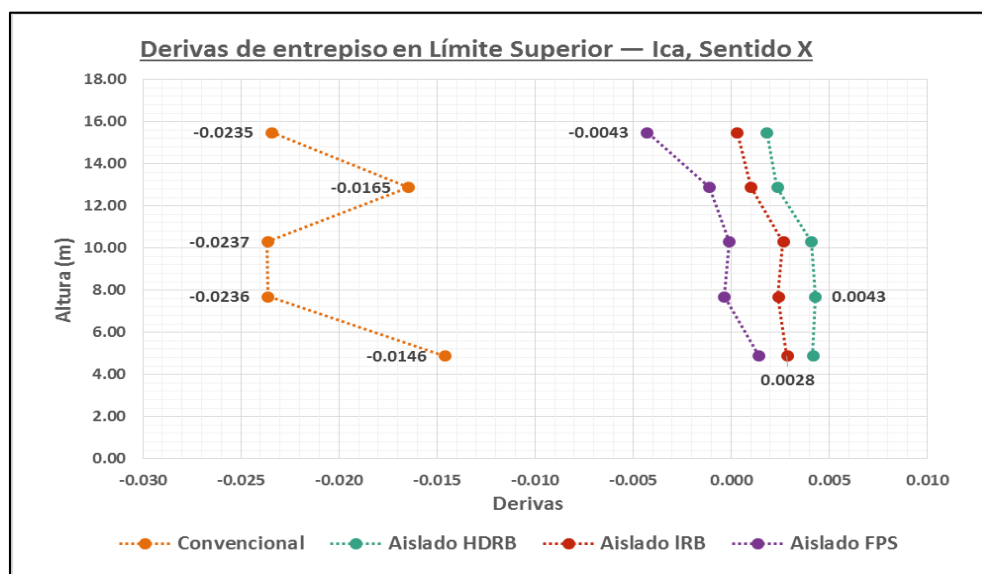
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 252** y expresados en **Gráfica N° 116**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0237 en el tercer entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema LRB con 0.0028 en el primer entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y FPS en orden de menor a mayor.

Tabla N° 252 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Ica, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0042	0.0028	0.0014
2	2.80	0.0043	0.0024	-0.0004
3	2.60	0.0041	0.0027	-0.0001
4	2.60	0.0023	0.0010	-0.0011
5	2.60	0.0018	0.0003	-0.0043

Fuente: Propia

Gráfica N° 116 – Distribución de Derivas sentido X de límite superior para Ica (2007)



Fuente: Propia

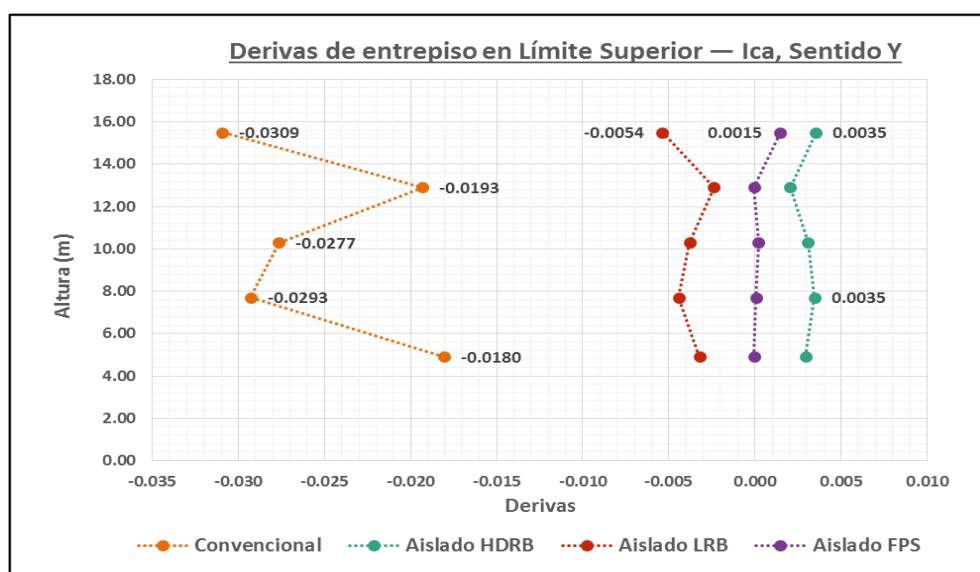
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 253** y expresados en la **Gráfica N° 117**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0309 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0015 en el segundo entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 253 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Ica, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0029	-0.0032	-0.0001
2	2.80	0.0035	-0.0044	0.0001
3	2.60	0.0031	-0.0038	0.0002
4	2.60	0.0020	-0.0024	0.0000
5	2.60	0.0035	-0.0054	0.0015

Fuente: Propia

Gráfica N° 117 – Distribución de Derivas sentido Y de límite superior para Ica (2007)



Fuente: Propia

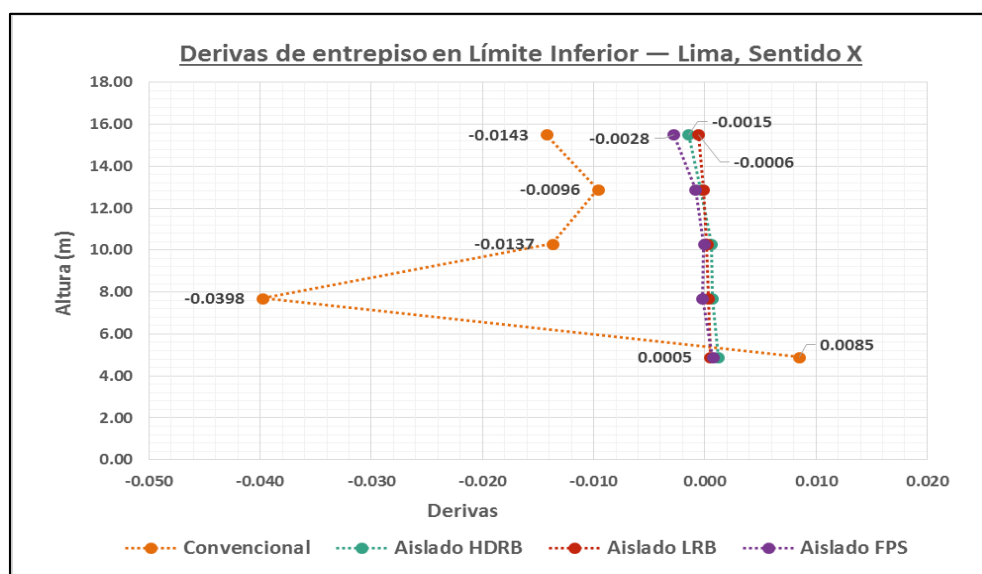
Para el sismo de Lima en el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 254** y expresados en **Gráfica N° 118**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0398 en el segundo entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema LRB con 0.0006 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y FPS en orden de menor a mayor.

Tabla N° 254 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Lima, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0012	0.0005	0.0007
2	2.80	0.0007	0.0003	-0.0002
3	2.60	0.0006	0.0002	-0.0001
4	2.60	-0.0003	-0.0002	-0.0008
5	2.60	-0.0015	-0.0006	-0.0028

Fuente: Propia

Gráfica N° 118 – Distribución de Derivas sentido X de límite inferior para Lima (2013)



Fuente: Propia

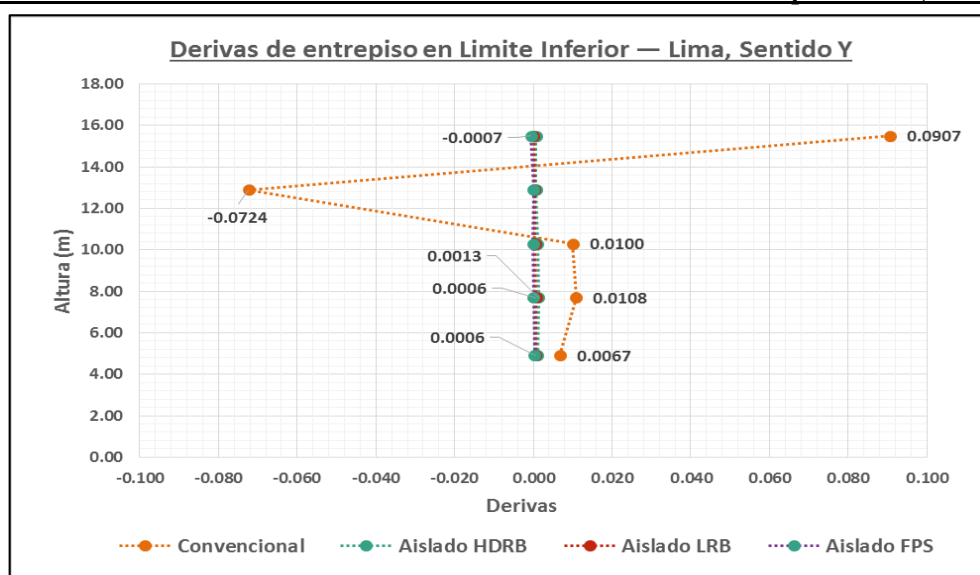
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 255** y expresados en la **Gráfica N° 119**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0907 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema LRB con 0.0006 en el segundo y tercer entrepiso. Seguidos por los sistemas FPS y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 255 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Lima, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0011	0.0006	0.0002
2	2.80	0.0013	0.0006	0.0000
3	2.60	0.0010	0.0005	0.0000
4	2.60	0.0007	0.0002	0.0000
5	2.60	0.0007	0.0000	-0.0007

Fuente: Propia

Gráfica N° 119 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Inferior para Lima (2013)



Fuente: Propia

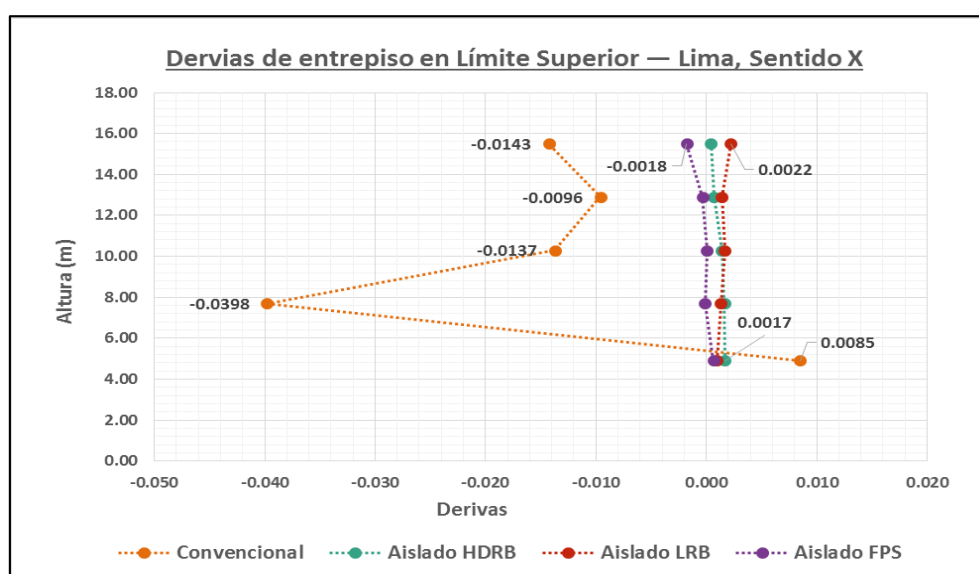
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 256** y expresados en **Gráfica N° 120**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0398 en el segundo entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema HDRB con 0.0017 en el primer entrepiso. Seguidos por los sistemas FPS y LRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 256 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Lima, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0017	0.0009	0.0006
2	2.80	0.0016	0.0013	-0.0001
3	2.60	0.0014	0.0017	0.0000
4	2.60	0.0007	0.0014	-0.0003
5	2.60	0.0004	0.0022	-0.0018

Fuente: Propia

Gráfica N° 120 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Superior para Lima (2013)



Fuente: Propia

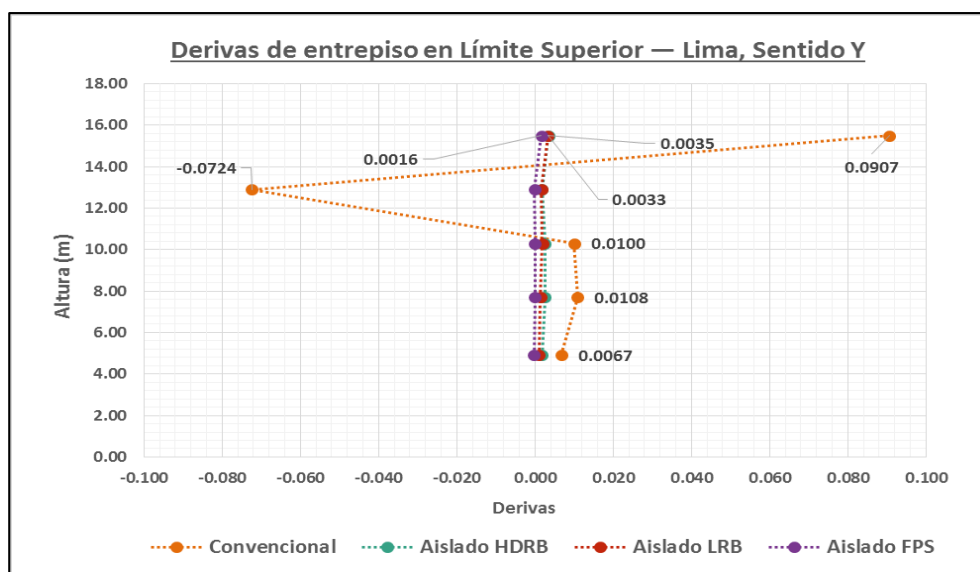
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 257** y expresados en la **Gráfica N° 121**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0907 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0016 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 257 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Lima, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0017	0.0009	-0.0003
2	2.80	0.0025	0.0014	-0.0001
3	2.60	0.0025	0.0019	0.0000
4	2.60	0.0017	0.0016	-0.0002
5	2.60	0.0035	0.0033	0.0016

Fuente: Propia

Gráfica N° 121 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Superior para Lima (2013)



Fuente: Propia

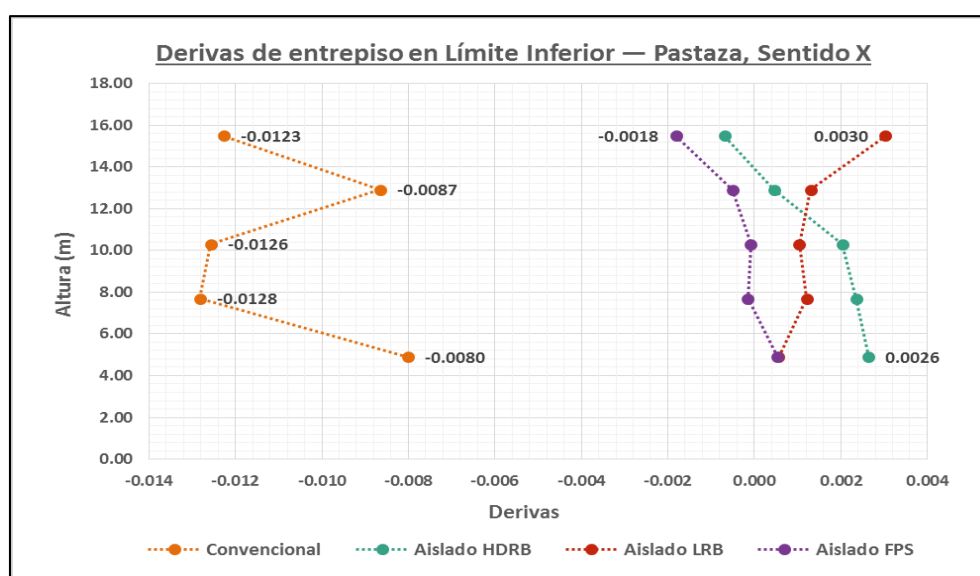
Para el sismo de Pastaza en el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 258** y expresados en **Gráfica N° 122**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0128 en el segundo entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0018 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 258 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Pastaza, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0026	0.0006	0.0005
2	2.80	0.0024	0.0012	-0.0001
3	2.60	0.0020	0.0010	-0.0001
4	2.60	0.0005	0.0013	-0.0005
5	2.60	-0.0007	0.0030	-0.0018

Fuente: Propia

Gráfica N° 122 – Distribución de Derivas sentido X de Límite Inferior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

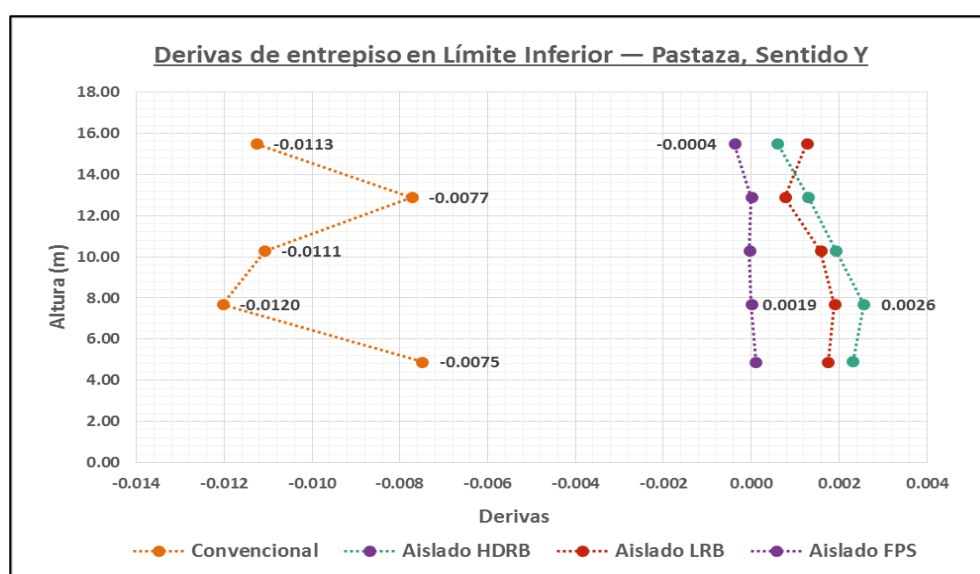
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 259** y expresados en la **Gráfica N° 123**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0113 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0004 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 259 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Pastaza, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0023	0.0017	0.0001
2	2.80	0.0026	0.0019	0.0000
3	2.60	0.0019	0.0016	0.0000
4	2.60	0.0013	0.0008	0.0000
5	2.60	0.0006	0.0013	-0.0004

Fuente: Propia

Gráfica N° 123 – Distribución de Derivas sentido Y de Límite Inferior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

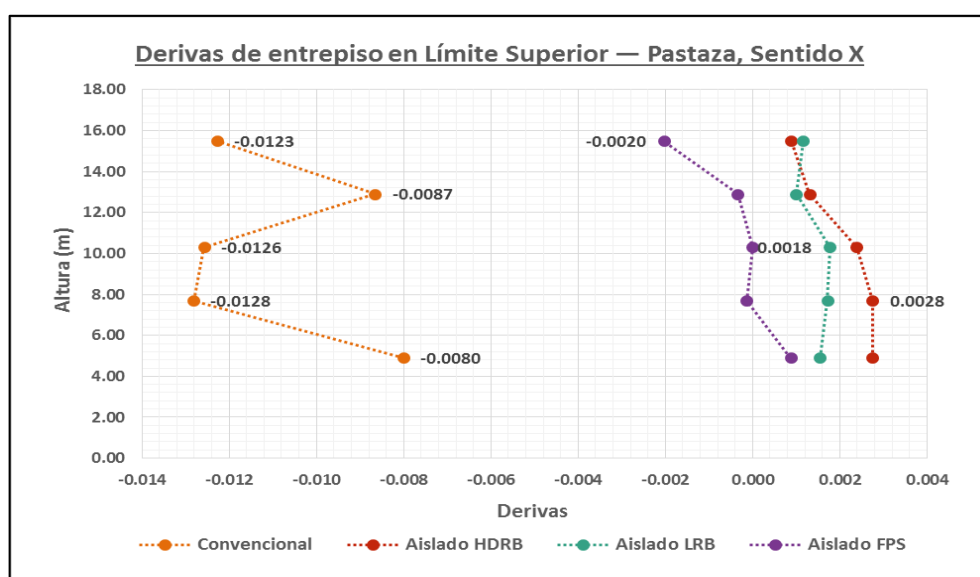
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 260** y expresados en **Gráfica N° 124**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0123 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema HDRB con 0.0018 en el tercer entrepiso. Seguidos por los sistemas FPS y LRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 260 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Pastaza, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0027	0.0015	0.0009
2	2.80	0.0028	0.0017	-0.0001
3	2.60	0.0024	0.0018	0.0000
4	2.60	0.0013	0.0010	-0.0003
5	2.60	0.0009	0.0012	-0.0020

Fuente: Propia

Gráfica N° 124 – Desplazamientos sentido X de Límite Superior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

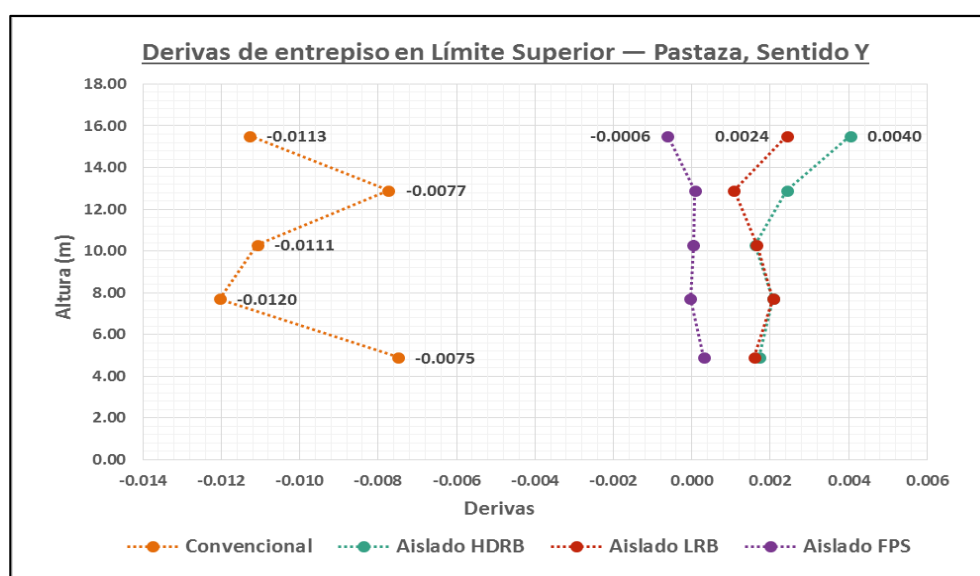
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 261** y expresados en la **Gráfica N° 125**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0113 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0006 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 261 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Pastaza, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0017	0.0016	0.0003
2	2.80	0.0021	0.0021	0.0000
3	2.60	0.0016	0.0017	0.0000
4	2.60	0.0024	0.0011	0.0001
5	2.60	0.0040	0.0024	-0.0006

Fuente: Propia

Gráfica N° 125 – Desplazamientos sentido Y de Límite Superior para Pastaza (2019)



Fuente: Propia

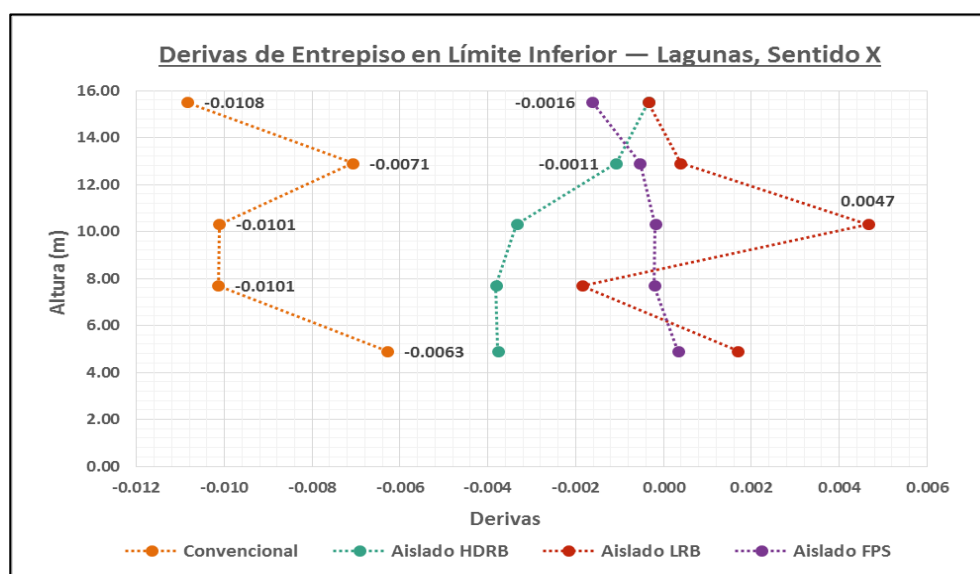
Para el sismo de Lagunas en el límite inferior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 262** y expresados en **Gráfica N° 126**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0108 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0011 en el cuarto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor.

Tabla N° 262 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — lagunas, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0012	0.0017	0.0003
2	2.80	0.0009	-0.0019	-0.0002
3	2.60	0.0008	0.0047	-0.0002
4	2.60	-0.0001	0.0004	-0.0005
5	2.60	-0.0010	-0.0003	-0.0016

Fuente: Propia

Gráfica N° 126 – Desplazamientos sentido X de límite inferior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

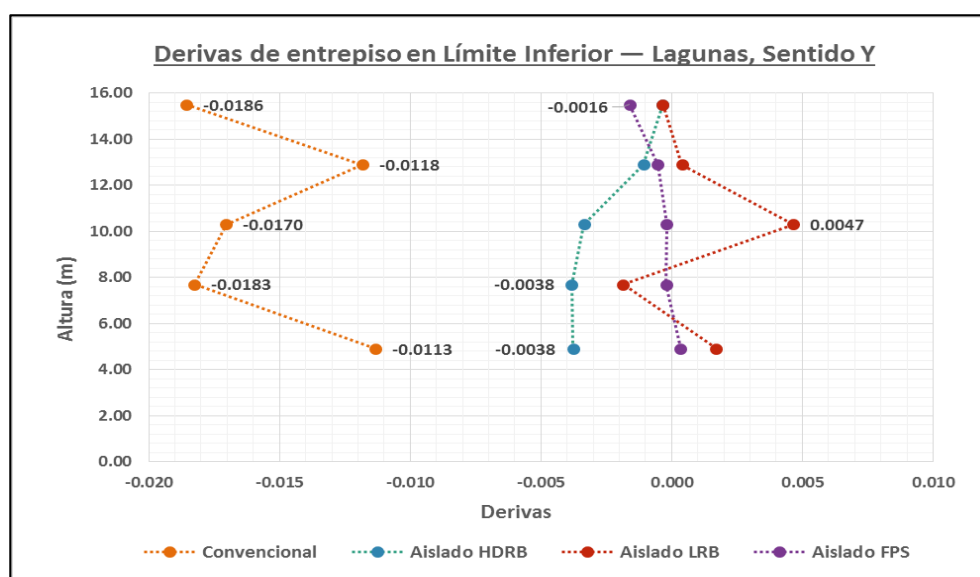
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 263** y expresados en la **Gráfica N° 127**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0186 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0016 en el cuarto entrepiso. Seguidos por los sistemas HDRB y LRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 263 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso en Límite Inferior — Lagunas, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	-0.0038	0.0017	0.0003
2	2.80	-0.0038	-0.0019	-0.0002
3	2.60	-0.0033	0.0047	-0.0002
4	2.60	-0.0011	0.0004	-0.0005
5	2.60	-0.0003	-0.0003	-0.0016

Fuente: Propia

Gráfica N° 127 – Desplazamientos sentido Y de límite inferior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

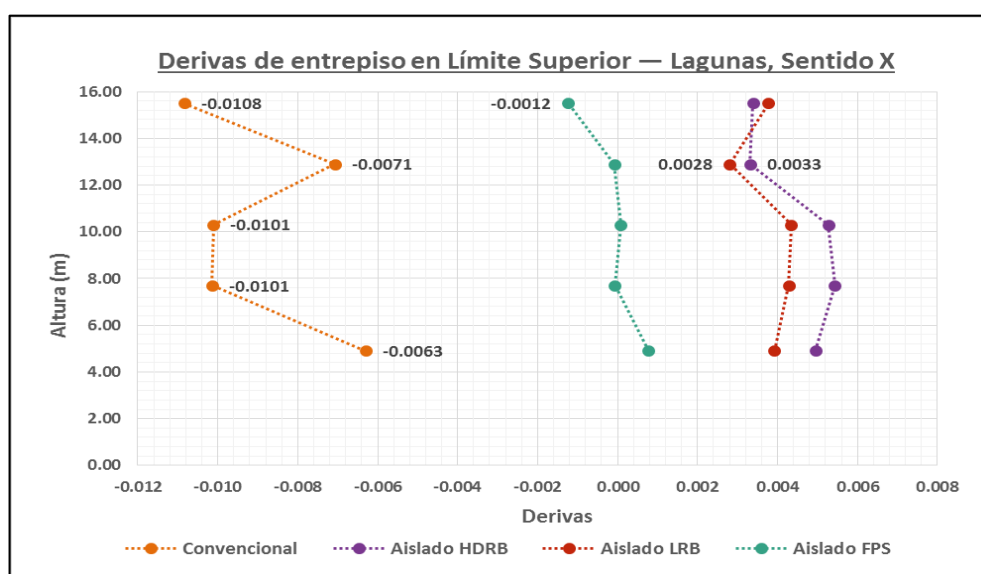
En el límite superior, las derivas en el sentido X son descritos en **Tabla N° 264** y expresados en **Gráfica N° 128**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0108 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema HDRB con 0.0012 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y FPS en orden de menor a mayor.

Tabla N° 264 – Derivas de entrepiso sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Lagunas, Sentido X				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0049	0.0039	0.0008
2	2.80	0.0054	0.0043	-0.0001
3	2.60	0.0053	0.0043	0.0001
4	2.60	0.0033	0.0028	-0.0001
5	2.60	0.0034	0.0038	-0.0012

Fuente: Propia

Gráfica N° 128 – Desplazamientos sentido X de límite superior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

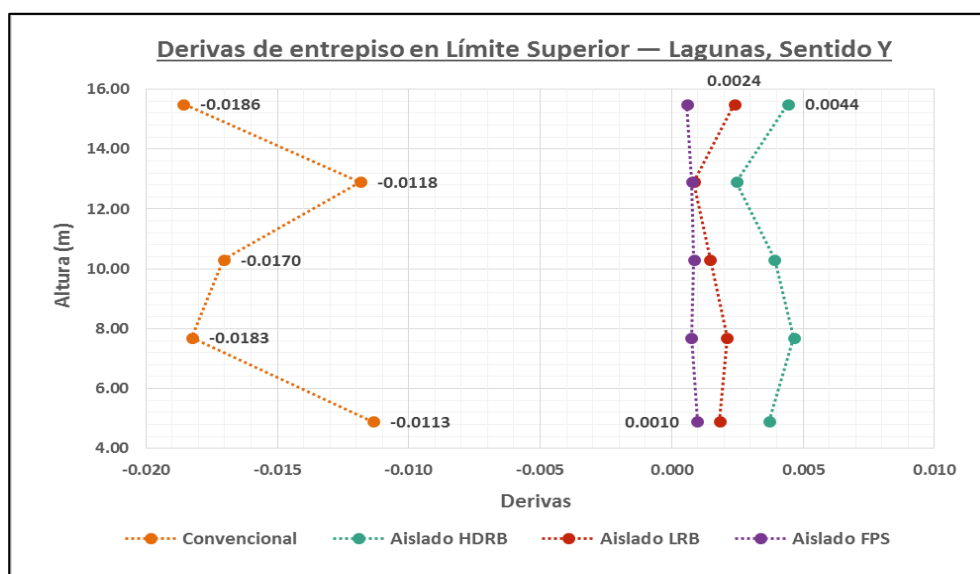
De la misma forma, los valores de derivas del sentido Y son descritos en **Tabla N° 265** y expresados en la **Gráfica N° 129**. En ambos, los tres sistemas aislados presentan menores deformaciones que los de la edificación convencional cuyo máximo es de 0.0186 en el quinto entrepiso. Por consiguiente, el sistema con menores derivas tendrá el mejor comportamiento sísmico. En el caso analizado se observa que las menores derivas se producen en el sistema FPS con 0.0010 en el quinto entrepiso. Seguidos por los sistemas LRB y HDRB en orden de menor a mayor

Tabla N° 265 – Derivas de entrepiso sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso en Límite Superior — Lagunas, Sentido Y				
Nivel	H Sum	Δi HDRB	Δi LRB	Δi FPS
Sub	0.00	-	-	-
Base	1.00	-	-	-
1	3.90	0.0037	0.0018	0.0010
2	2.80	0.0046	0.0021	0.0007
3	2.60	0.0039	0.0015	0.0008
4	2.60	0.0025	0.0008	0.0008
5	2.60	0.0044	0.0024	0.0006

Fuente: Propia

Gráfica N° 129 – Desplazamientos sentido Y de límite superior para Lagunas (2019)



Fuente: Propia

En todos los casos indicados se observa que las derivas obtenidas de los tres tipos de tecnologías, son menores a las producidas en la edificación convencional bajo las mismas fuerzas sísmicas. De estos sistemas destacará el sistema que presenten las menores derivas al comparar lo máximos respectivos de cada uno. La comparación se realizó con los datos indicados anteriormente y que serán resumidos en las tablas a continuación. En estas se indican los sistemas que cumplan con tener las menores derivas, seguidos por los segundos en el orden.

Tabla N° 266 – Comparación de Derivas sentido X por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso por sistema en Límite Inferior — Sentido X				
	HDRB	LRB	FPS	Menor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.0018	0.0024	0.0027	HDRB
Sismo Dinámico	0.0006	0.0015	0.0011	HDRB
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.0024	0.0029	-0.0021	FPS
Sismo Ica	0.0037	0.0024	-0.0038	LRB
Sismo Lima	-0.0015	-0.0006	-0.0028	LRB
Sismo Pastaza	0.0026	0.0030	-0.0018	HDRB
Sismo Lagunas	0.0012	0.0047	-0.0016	HDRB

Fuente: Propia

Tabla N° 267 – Comparación de Derivas sentido Y por sistema en Límite Inferior

Derivas de entrepiso por sistema en Límite Inferior — Sentido Y				
	HDRB	LRB	FPS	Menor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.0022	0.0027	0.0024	HDRB
Sismo Dinámico	0.0007	0.0015	0.0005	FPS
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.0035	0.0014	-0.0011	FPS
Sismo Ica	0.0042	0.0057	-0.0013	FPS
Sismo Lima	0.0013	0.0060	-0.0007	FPS
Sismo Pastaza	0.0026	0.0019	-0.0004	FPS
Sismo Lagunas	-0.0038	0.0047	-0.0016	FPS

Fuente: Propia

Tabla N° 268 – Comparación de Derivas sentido X por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso por sistema en Límite Superior — Sentido X				
	HDRB	LRB	FPS	Menor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.0052	0.0044	0.0038	FPS
Sismo Dinámico	0.0034	0.0033	0.0015	FPS
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.0045	0.0028	-0.0005	FPS
Sismo Ica	0.0043	0.0028	-0.0043	LRB
Sismo Lima	0.0017	0.0022	-0.0018	HDRB
Sismo Pastaza	0.0028	0.0018	-0.0020	LRB
Sismo Lagunas	0.0054	0.0043	-0.0012	FPS

Fuente: Propia

Tabla N° 269 – Comparación de Derivas sentido Y por sistema en Límite Superior

Derivas de entrepiso por sistema en Límite Superior — Sentido Y				
	HDRB	LRB	FPS	Menor
Análisis Lineal				
Sismo Estático	0.0062	0.0049	0.0044	FPS
Sismo Dinámico	0.0039	0.0036	0.0010	FPS
Análisis No Lineal o Espectro de Respuesta				
Sismo Moquegua	0.0042	0.0027	0.0003	FPS
Sismo Ica	0.0035	-0.0054	0.0015	FPS
Sismo Lima	0.0035	0.0033	0.0016	FPS
Sismo Pastaza	0.0040	0.0024	-0.0006	FPS
Sismo Lagunas	0.0046	0.0024	0.0010	FPS

Fuente: Propia

De las comparaciones realizadas en las tablas dispuestas se observa que entre los distintos casos estudiados los dos sistemas en los que se producen las menores derivas son el FPS y HDRB, misma tendencia identificada en los desplazamientos de la base. Como se mencionó, el sistema FPS no presenta beneficios para la estructura; por lo que su conteo es reemplazado por el del segundo lugar. En estas condiciones se vuelve a contabilizar los casos en el que los sistemas restantes obtuvieron los mínimos, siendo a favor del sistema LRB con 16 casos contra 12 del HDRB entre los sentidos “X” y “Y” de ambos límites.

4.1.7. Fuerzas de aplastamiento y elevación

La superestructura en los sistemas aislados transmite a la subestructura las cargas axiales provenientes del peso propio de los elementos estructurales. Estas cargas actúan aplicando fuerzas de compresión o aplastamiento sobre cada aislador, siendo soportadas por el alto valor de rigidez a la compresión vertical. No obstante, debido al comportamiento histerético del sistema aislado ante fuerzas sísmicas, la integridad de los aisladores puede verse comprometida por acción de fuerzas axiales de levantamiento a las cuales no presentan resistencia y que podrían arrancarlo de la estructura.

Por esa razón es importante identificar que en el diseño de sistemas aislados no existan fuerzas de levantamiento o que no sean significativas. Estas cargas axiales son evaluadas por los combos de las secciones 3.7.14, 3.7.15 y 3.7.16.4 para el análisis estático, dinámico y espectro de respuesta respectivamente. Además, cada sistema es evaluado para límite inferior y superior, considerando los mínimos y máximos según sea el caso. El valor de aplastamiento o elevación es medido en milímetros (mm).

Tabla N° 270 – Fuerzas de Aplastamiento por sistema en Límite Inferior

Fuerzas de Aplastamiento por Sistema en Límite Inferior			
	Sistema HDRB (mm)	Sistema LRB (mm)	Sistema FPS (mm)
Sismo Estático	-0.80	-0.70	-0.60
Sismo Dinámico	-0.70	-0.70	-0.60
Espectro de Respuesta	-1.20	-0.90	-0.60

Fuente: Propia

Tabla N° 271 – Fuerzas de Levantamiento por sistema en Límite Inferior

Fuerzas de Elevación por Sistema en Límite Inferior			
	Sistema HDRB (mm)	Sistema LRB (mm)	Sistema FPS (mm)
Sismo Estático	0.00	0.06	0.00
Sismo Dinámico	0.00	0.00	0.00
Espectro de Respuesta	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia

En el límite inferior, las cargas axiales fueron analizadas por combos para conocer los posibles valores de aplastamiento o elevación en los tres sistemas de aislamiento. Los máximos resultantes son dispuestos en la **Tabla N° 270** y **Tabla N° 271**, donde no se aprecia algún desplazamiento vertical significativo. Así mismo, entre estos destacan los sistemas HDRB y FPS por no tener elevación alguna, al contrario presentan aplastamiento máximo de 0.60mm y 1.20mm respectivamente en el análisis por espectro de respuesta. Por otro lado, el sistema LRB cuenta con aplastamiento de 0.90mm en el mismo caso y elevación de 0.06mm en el sismo estático.

Tabla N° 272 – Fuerzas de Aplastamiento por sistema en Límite Superior

Fuerzas de Elevación por Sistema en Límite Superior			
	Sistema HDRB (mm)	Sistema LRB (mm)	Sistema FPS (mm)
Sismo Estático	0.30	0.20	0.00
Sismo Dinámico	0.00	0.00	0.00
Espectro de Respuesta	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia

Tabla N° 273 – Fuerzas de Levantamiento por sistema en Límite Superior

Fuerzas de Aplastamiento por Sistema en Límite Superior			
	Sistema HDRB (mm)	Sistema LRB (mm)	Sistema FPS (mm)
Sismo Estático	-1.10	-0.90	-0.60
Sismo Dinámico	-0.90	-0.70	-0.60
Espectro de Respuesta	-1.50	-1.20	-0.60

Fuente: Propia

En cambio en el límite superior, los máximos resultantes son dispuestos en la **Tabla N° 272** y **Tabla N° 273**, donde no se aprecia algún desplazamiento vertical significativo. Así mismo, entre estos destaca el sistema FPS por no tener elevación alguna, sino un aplastamiento máximo de 0.60mm. Por otro lado, los otros dos sistemas presentan una sutil elevación de 0.30mm en HDRB y 0.20mm en LRB.

Si bien en algunos de los casos de análisis los sistemas aislados presentan levantamiento en al menos uno de sus unidades de aislamiento, este valor no es considerado de importancia o perjudicial para el diseño debido a lo pequeño que es, sin llegar al 1mm de desplazamiento. Por lo que se puede indicar que los tres sistemas de aislamiento presentan solo aplastamiento mínimo; sin importa cuál de ellos es el menor o mayor.

La comparación por levantamiento y aplastamiento no mide en cuan medida un sistema es mejor que el otro, si no que comprueba que el diseño de aislamiento sea estable y que los aisladores no tengan posibilidad de ser separados de la estructura por grandes cargas de levantamiento. En caso de ocurrir, se hubiera requerido replantear el diseño y seleccionar otro tipo de aisladores con mejor funcionamiento. Por eso se puede confirmar que dejando de lado otras características, los tres sistemas son de buen rendimiento.

4.1.8. Impacto en el Presupuesto

En la presente investigación, el presupuesto calculado considera como análisis inicial solo los costos estructurales en función a las partidas de movimientos de tierra, obras de concreto simple, obras de concreto armado y varios. Las variaciones en metrado de cada una de estas partidas afectarán directamente al total del presupuesto; por lo cual se ha analizado el aporte de cada una por separado y el total acumulado obtenido.

Las partidas del presupuesto son evaluadas para los casos de sistema convencional, aislado HDRB, aislado LRB y aislado FPS, con las unidades de aislación incluidas en la partida de “Varios”, debido a que la norma técnica de metrados no tiene especificado en sus apartados las tecnología de protección antisísmica. Los presupuestos de cada sistema son detallados desde la **Tabla N° 214** a **Tabla N° 220** de la sección **4.1.7.1**.

Para comenzar, de la comparación de metrado entre sistemas, se conoce que la edificación para sistema aislado tiene un incremento del orden de 3.22% en concreto (m³) y 2.01% en acero (kg) en las partida de obras de concreto armado. Estas variaciones se deben reflejar en el cálculo de costos de la partidas indicadas en **Tabla N° 274**. En esta se ha juntado el aporte tanto de acero como de concreto de cada uno de los elementos estructurales, siendo considerados la totalidad de estos.

Las variaciones en costos independientes obtenidas de los elementos estructurales deben seguir las tendencias de reducción e incremento observadas en las comparaciones de metrado anteriormente descritas. Estas comparaciones solo son realizadas entre elementos existentes

Tabla N° 274 – Variación en costos de Obras de Concreto Armado entre Sistemas

Variación en los Costos de Obras de Concreto Armado entre Sistemas			
	Convencional (/S.)	Aislado (S/.)	Variación (%)
Obras de Concreto Armado			
Vigas de Cimentación	13301.65	10617.56	-20.18
Losas de Cimentación	140711.01	140461.17	-0.18
Muros de Corte	41629.24	-	-
Columnas	120362.70	84259.33	-30.00
Vigas	43553.64	45052.92	3.44
Losas Macizas	17325.48	17325.48	0.00
Losas Aligeradas*	31333.29	31333.29	0.00
Escalera	12829.83	12581.68	-1.93
Pedestales Inferiores	-	18505.96	-
Pedestales Superiores	-	31281.26	-
Vigas de Aislamiento	-	16712.67	-
Losas de Aislamiento	-	23461.75	-
Total	421046.83	431593.08	2.50

Fuente: Propia

Al comparar los costos de obras de concreto armado se observa que en el sistema aislado, las columnas y vigas de cimentación tienen reducciones importantes de 30.00% y 20.18% en dicho orden. Seguido a estos, la escalera redujo sus costos en 1.93% junto al 0.18% de la losa de cimentación. En el otro extremo, el único incremento corresponde a las vigas de cimentación con variación de 3.44%. Todos estos siguen con las tendencias anteriormente identificadas en el metrado. De estos, al considerar el conjunto de estructuras involucradas en la edificación convencional se calculó un costo de S/. 421 046.83, mientras que en la edificación aislada es de S/.431 593.08 representando un aumento en costos estructurales de 2.50%.

Como fue mencionado, adicionalmente a los costos por obras de concreto armado se le añade otras partidas a considerar, como movimientos de tierras de **Tabla N° 275** y obras de concreto simples en **Tabla N° 276**, analizados igualmente para los dos sistemas.

Tabla N° 275 – Variación en costos de Movimientos de Tierras entre Sistemas

Variación en los Costos de Movimientos de Tierras entre Sistemas			
	Convencional (S/.)	Aislado (S/.)	Variación (%)
Movimientos de Tierras			
Nivelación del Terreno	388.68	388.68	0.00
Excavación	6398.79	11634.16	81.82
Rellenos	5933.98	5933.98	0.00
Nivelación Interior y Apisonado	388.68	388.68	0.00
Total	13110.13	18345.50	39.93

Fuente: Propia

En costos de movimientos de tierras, la edificación aislada requiere condiciones de profundidad especiales para la construcción de la subestructura; así como la implementación y mantenimiento del sistema de aislamiento. Ya en la subestructura, la profundidad sugerida entre cara superior de cimentación y cara inferior de losa de aislamiento es de al menos la altura de una persona promedio. En el estudio las profundidades consideradas son de 3.00m de excavación total y 1.95m de altura libre en la subestructura.

El aumento de profundidad de excavación requerida afecta los costos de las partidas medidas en volumen (m³) como la partida de excavación, la cual incrementa en 81.82% en el sistema aislado. Las demás partidas consideradas en el apartado de movimientos de tierra como nivelaciones y rellenos son medidas en área (m²), su variación entre sistemas es nula ya que comparten las mismas dimensiones en planta.

La suma de costos en la partida de movimientos de tierras para sistema convencional es de S/. 13 110.13 y para sistema aislado de S/. 18 345.50, representando un incremento de 39.93% en el segundo.

Tabla N° 276 – Variación en costos de Obras de Concreto Simples entre Sistemas

Variación en los Costos de Obras de Concreto Simple entre Sistemas			
	Convencional (\$/.)	Aislado (\$/.)	Variación (%)
Obras de Concreto Simple			
Soldados	78052.77	78052.77	0.00
Falsopisos	73137.92	73137.92	0.00
Total	151190.69	151190.69	0.00

Fuente: Propia

Para las obras de concreto simple no se ha notado algún cambio entre el medrado y costos de sus partidas, confirmado con la variación del 0% al comparar ambos sistemas en estudio.

Tabla N° 277 – Presupuesto total de Estructuras para Sistemas

Presupuesto Total de Estructuras para Sistemas Comparados		
	Convencional (\$/.)	Aislado (\$/.)
Movimientos de Tierra		
Nivelación del Terreno	388.68	388.68
Excavación	6398.79	11634.16
Rellenos	5933.98	5933.98
Nivelación Interior y Apisonado	388.68	388.68
Obras de Concreto Simple		
Soldados	78052.77	78052.77
Falsopisos	73137.92	73137.92
Obras de Concreto Armado		
Vigas de Cimentación	13301.65	10617.56
Losas de Cimentación	140711.01	140461.17
Muros de Corte	41629.24	-
Columnas	120362.70	84259.33
Vigas	43553.64	45052.92
Losas Macizas	17325.48	17325.48
Losas Aligeradas*	31333.29	31333.29
Escalera	12829.83	12581.68
Pedestales Inferiores	-	18505.96
Pedestales Superiores	-	31281.26
Vigas de Aislamiento	-	16712.67
Losas de Aislamiento	-	23461.75
Varios		
Juntas	818.06	-
Muros de Mampostería		
Muros e=0.15m	124844.03	124844.03
Total	711009.73	725973.29

Fuente: Propia

Junto a las partidas mencionadas, en el presupuesto de estructuras de la **Tabla N° 277** se consideró el aporte de dos partidas adicionales; el de juntas, catalogado dentro del apartado “Varios”, y el aporte de los muros de tabiquería, los cuales originalmente son considerados dentro del metrado de arquitectura.

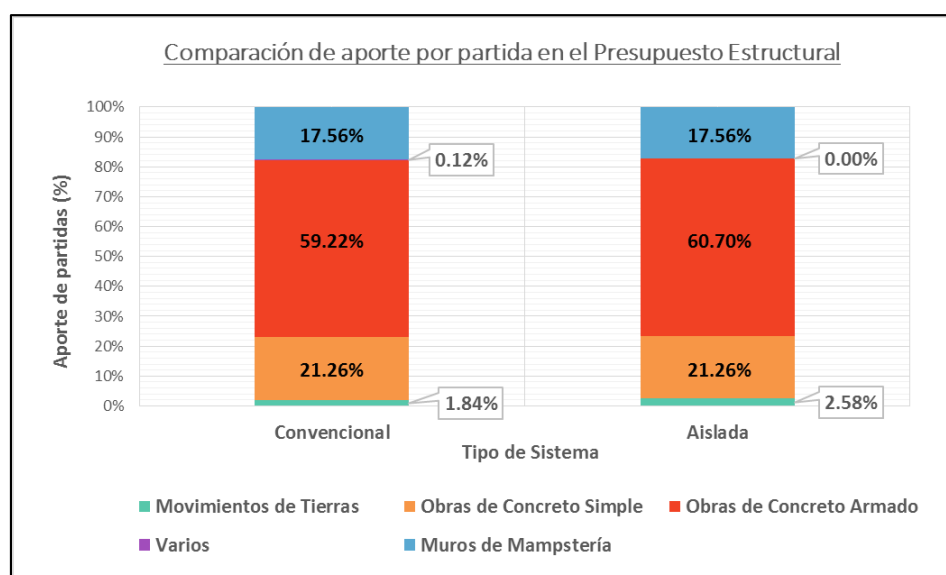
En conjunto, se calcula que el costo de la edificación convencional es de S/. 711 009.73; mientras que la edificación aislada asciende a un costo de S/. 725 973.29. Pero, aunque este último sea levemente mayor, ambos valores son muy cercanos y cuentan con porcentajes de aporte de partidas extremadamente cercanas entre sí; siendo los mayores los relacionado a obras de concreto armado con una diferencia de 1.48%. La relación entre aportes y variaciones son descritas en la siguiente tabla.

Tabla N° 278 – Porcentaje de aportes por partidas en el Presupuesto Estructural

Porcentaje de Aporte de Partidas en Presupuesto Estructural			
	Convencional (%)	Aislado (%)	Variación (%)
Movimientos de Tierras	1.84	2.58	0.74
Obras de Concreto Simple	21.26	21.26	0.00
Obras de Concreto Armado	59.22	60.70	1.48
Varios	0.12	0.00	-0.12
Muros de Mampostería	17.56	17.56	0.00

Fuente: Propia

Gráfica N° 130 – Comparación de aporte por partidas en el Presupuesto Estructural



Fuente: Propia

Hasta el momento, el análisis de costos estuvo enfocado a comparar los costos directos obtenidos del presupuesto de las estructuras convencional y aislada, obviando aportes de las partidas de arquitectura y demás. En esta comparación, los sistemas aislados suelen estar en desventaja al requerir mayor inversión en su construcción; aun cuando el incremento en la edificación aislada del estudio es despreciable. Sin embargo, la verdadera ventaja de los sistemas aislados se observa al estudiar los costos indirectos producidos por el impacto de un sismo sobre la integridad de la edificación. Este es conocido como costos de reparación por daño estructural.

El costo por daño estructural se calcula como un porcentaje del presupuesto de estructuras de la edificación y es directamente proporcional a la deriva máxima producida por un sismo severo, siguiendo los lineamientos de medición de derivas de la norma E0.30. Dicha relación es evaluada para la estructura de cada sistema, la estructura convencional correspondiente al sistema del mismo nombre, mientras que la estructura aislada es implementada en los sistemas HDRB, LRB y FPS. Cuyos daños se obtienen de las **Gráfica N° 64**, **Gráfica N° 65** y **Gráfica N° 66**,

De los presupuestos de estructuras, los costos adicionales aproximados por daño estructural para cada sistema son de S/. 284 403.89 en convencional, S/. 20 327.25 en sistema HDRB y S/. 36 298.66 en sistemas LRB y FPS. Estos valores demuestran la principal ventaja del aislamiento sísmico; ya que sin importa el tipo de tecnología usada, las edificaciones con sistemas aislados reducen importantemente los costos de daño que serían agregados al presupuesto estructural del proyecto. Además, al comparar estos totales, la mayor reducción es del 25.03% en el sistema con aislamiento HDRB. Los resultados de este análisis son dispuestos en la **Tabla N° 279**.

Tabla N° 279 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema HDRB

Comparación de Presupuesto con Daño Estructural — Convencional y HDRB		
	Convencional	HDRB
Daño Estructural (%)	40.00	2.80
Presupuesto Estructural (S/.)	711009.73	725973.29
Costos por Daño Estructural (S/.)	284403.89	20327.25
Presupuesto Estructural Total (S/.)	995413.62	746300.55
Variación (%)	-	-25.03

Fuente: Propia

Tabla N° 280 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema LRB

Comparación de Presupuesto con Daño Estructural — Convencional y LRB		
	Convencional	LRB
Daño Estructural (%)	40.00	5.00
Presupuesto Estructural (S/.)	711009.73	725973.29
Costos por Daño Estructural (S/.)	284403.89	36298.66
Presupuesto Estructural Total (S/.)	995413.62	762271.96
Variación (%)	-	-23.42

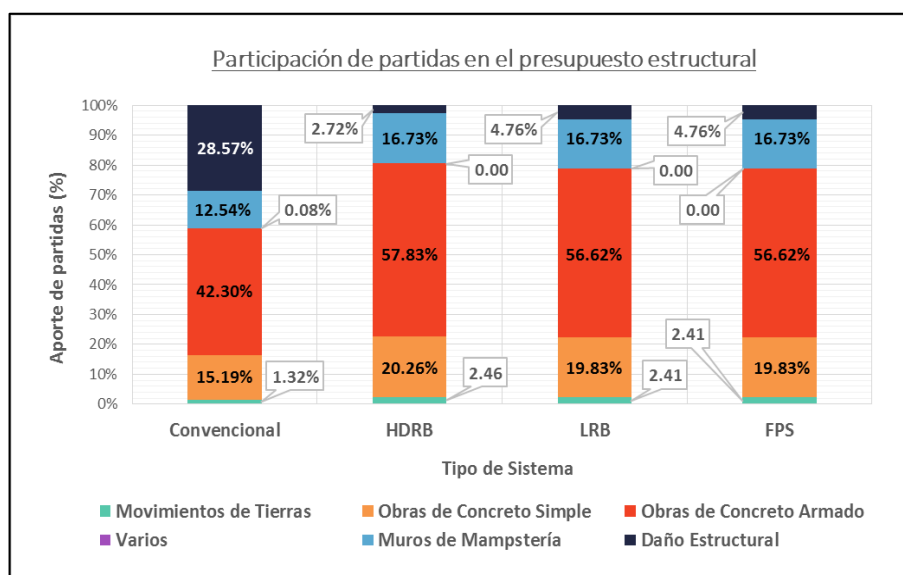
Fuente: Propia

Tabla N° 281 – Reducción del presupuesto estructural total para Sistema FPS

Comparación de Presupuesto con Daño Estructural — Convencional y FPS		
	Convencional	FPS
Daño Estructural (%)	40.00	5.00
Presupuesto Estructural (S/.)	711009.73	725973.29
Costos por Daño Estructural (S/.)	284403.89	36298.66
Presupuesto Estructural Total (S/.)	995413.62	762271.96
Variación (%)	-	-23.42

Fuente: Propia

Gráfica N° 131 – Participación de partidas en el presupuesto estructural de cada sistema



Fuente: Propia

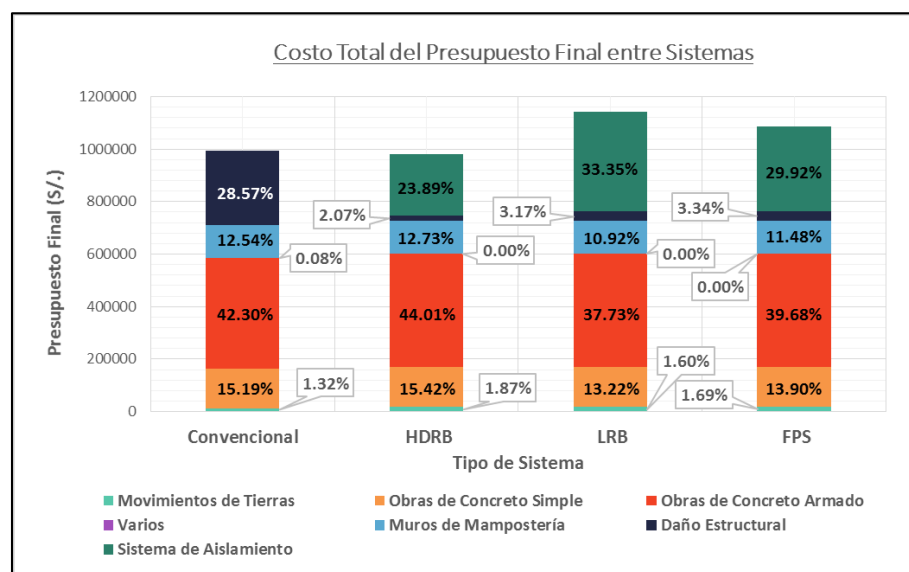
Hasta el momento, se ha comparado los costos directos e indirectos relacionados a las estructuras de los cuatro sistemas seleccionados. Este análisis buscó conocer el rendimiento de los sistemas aislados sobre el convencional. Junto a estos costos, se requiere incluir el aporte de la partida especial de sistema de aislación los cuales incluyen a las unidades de aislamiento y costos derivados. Así mismo, esta partida no es considerada para el cálculo de daño estructural.

Tabla N° 282 – Comparación de presupuesto final entre Sistemas

Comparación del Presupuesto Final entre Sistemas Convencional — Aislados					
		Conv.	HDRB	LRB	FPS
Estructura	S/.	711010	725973	725973	725973
Daño Estructural	S/.	284404	20327	36299	36299
Sistema de Aislamiento	S/.	-	234305	381505	325505
Presupuesto Total	S/.	995414	980606	1143777	1087777
Sistema de Aislamiento	%	-	23.89	33.35	29.92
Variación Final	%	-	-1.49	14.90	9.28

Fuente: Propia

Gráfica N° 132 – Participación de partidas en el presupuesto total de cada sistema



Fuente: Propia

Al considerar el aporte de todas las partidas seleccionadas en el estudio, el presupuesto total de cada sistema es calculado y descrito en **Tabla N° 280**. Los presupuestos de los sistemas aislados son comparados de acuerdo a su reducción o incremento respecto al costo total del sistema convencional, entre los cuales destaca la variación presente en la tecnología HDRB que reduce el presupuesto en 1.49%. Los otros sistemas aislados no cumplen, dentro de los límites indicados, con la función de mitigar los gastos finales, ya que en su lugar los sistemas LRB y FPS incrementan en un 14.90% y 9.28% respectivamente. Además, el sistema HDRB cuenta con el menor aporte de costos por la implementación del aislamiento siendo aproximadamente el 23.89% del total, el menor entre los casos estudiados.

En adición a lo mencionado, es importante agregar que mientras más partidas sean consideradas en el presupuesto, ya sea de arquitectura y las relacionadas a otras áreas, el porcentaje de variación de los sistemas aislados tenderá a la reducción de costos. El incremento de partidas en el análisis también impactará directamente en los costos por daño estructural. El desarrollo de los porcentajes de variación se explica en **Tabla N° 281**, donde destaca el sistema aislado HDRB permitiendo un ahorro de costos desde el 1.49%, con los datos actuales, hasta un 10.52% a más.

Tabla N° 283 – Porcentaje de variación entre sistemas por incremento en el presupuesto

Porcentaje de variación entre sistemas por incremento en el presupuesto				
	Conv.	HDRB	LRB	FPS
Presupuesto Estructural (S/.)	711010	725973	725973	725973
Sistema de Aislamiento (S/.)	-	234305	381505	325505
Presupuesto Final (S/.)	-	960278	1107478	1051478
Porcentajes de variación por incremento de presupuesto				
Variación Calculada (%)	-	-1.49	14.90	9.28
Presupuesto + S/. 100 000 (%)	-	-4.58	9.98	5.05
Presupuesto + S/. 200 000 (%)	-	-6.99	6.14	1.75
Presupuesto + S/. 300 000 (%)	-	-8.93	3.06	-0.89
Presupuesto + S/. 400 000 (%)	-	-10.52	0.54	-3.06

Fuente: Propia

4.1.9. Comentarios Adicionales de Resultados

Cada tecnología de aislamiento comparada en el estudio destaca de entre las otras en al menos uno de los criterios de análisis; ya sea en amortiguamiento y periodo efectivo, desplazamientos, derivas o presupuesto total. El impacto individual de los aisladores en el diseño estructural y metrado no es considerado, debido a que los tres tipos comparten una misma superestructura. Además, en el proceso se identificó los problemas que acarrearía el aislamiento FPS en una edificación de baja envergadura como la seleccionada. El sobre amortiguamiento producido ejercería deformaciones adicionales no deseadas que dañarían la integridad de la estructura. Por lo que las comparaciones fueron reducidas a solo los sistemas HDRB y LRB.

Tabla N° 284 – Sistema predominante en cada criterio estudiado

Sistema Predominante por Criterio de Selección*		
	Límite Inferior	Límite Superior
Diseño Estructural	-	-
Amortiguamiento	Sistema HDRB	Sistema HDRB
Periodo	Sistema HDRB	Sistema HDRB
Desplazamientos	Sistema HDRB	Sistema HDRB
Derivas	Sistema LRB	Sistema LRB
Presupuesto	Sistema HDRB	

* Sistema FPS no es considerado

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos de cada criterio fueron recopilados y comparados para determinar cuál de los sistemas es el que presenta el mejor comportamiento y los menores costos, el sistema HDRB. Esta tecnología demostró sobresalir en cada uno de los casos comparados; a excepción de la comparación de derivas entre sistemas aislados, en donde destaca el LRB por tener presencia en un mayor número de casos de análisis sísmico.

Conociendo lo descrito, el sistema HDRB demuestra tener el mayor rendimiento al ser implementado en una edificación de baja envergadura con altos ratios de amortiguamiento dentro de lo aceptado de 24.64% y 24.53% para los límites inferior y superior, incrementado por ende los periodos a 3.354s y 1.250s respectivamente. A su vez, genera en la base desplazamientos máximos de 0.510m y 0.183m. Por último, su presupuesto es el menor de entre los tres sistemas de aislamiento con un total de S/. 960 278.29. Las tablas a continuación agrupan los resultados obtenidos de los análisis previos por sistema.

Tabla N° 285 – Resumen de características del sistema HDRB

Características Finales del Sistema HDRB		
	Límite Inferior	Límite Superior
Diseño Estructural	-	-
Amortiguamiento	24.64%	24.53%
Periodo	3.354 s	1.250 s
Desplazamientos	0.510 m	0.183 m
Deriva Mínima	0.0006	0.0017
Caso de Derivas	10	2
Presupuesto	S/. 960,278.29	

Fuente: Propia

Tabla N° 286 – Resumen de características del sistema LRB

Características Finales del Sistema LRB		
	Límite Inferior	Límite Superior
Diseño Estructural	-	-
Amortiguamiento	12.79%	21.68%
Periodo	2.442 s	1.486 s
Desplazamientos	0.466 m	0.217 m
Deriva Mínima	-0.0006	0.0018
Caso de Derivas	4	12
Presupuesto	S/. 1,107,478.29	

Fuente: Propia

Tabla N° 287 – Resumen de características del sistema FPS

Características Finales del Sistema FPS		
	Límite Inferior	Límite Superior
Diseño Estructural	-	-
Amortiguamiento	21.02%	41.28%
Periodo	4.172 s	2.725 s
Desplazamientos	0.685 m	0.327 m
Deriva Mínima	-0.0004	-0.0005
Caso de Derivas	Excluído	Excluído
Presupuesto	S/. 1,051,478.29	

Fuente: Propia

Por otro lado, es importante reconocer que la implementación del sistema tiene un impacto menor en el presupuesto de la estructura, en especial cuando considera el aporte por daño estructural. Aun así, el uso de este tipo de tecnología representa un incremento de 14.90% en aislamiento LRB y 9.28% en aislamiento FPS; en oposición, el aislamiento HDRB reduce los costos en al menos un 1.49%, valor que se incrementara en cuanto se consideren costos no estructurales como los de arquitectura u otros.

Adicionalmente, en caso de no considerarse los costos indirectos por daño estructura, la inclusión del sistema de aislamiento implicaría incrementar el presupuesto desde un 20% aproximadamente en sistema HDRB, y 30% en las otras dos tecnologías. Aun así el sistema HDRB conserva su relación alto rendimiento por menores costos entre las tecnologías seleccionadas.

V. CONCLUSIONES

- La principal desventaja del sistema de diseño convencional es su incapacidad de resistir sismos severos o de gran intensidad, por los cuales se producen grandes pérdidas económicas y de infraestructura. El daño estructural es de aproximadamente el 40% del presupuesto estructural inicial.
- Las tecnologías de aislamiento sísmico pueden ser usados en edificaciones de baja envergadura, como una vivienda multifamiliar, solo si están ubicadas en zona de alto riesgo sísmico. Ya que su beneficio recae en la reducción de los costos por daño estructural, no son comúnmente calculados en el presupuesto.
- El daño estructural en sistemas aislados es mínimo debido a la reducción de los esfuerzos transmitidos a la superestructura, producidos por la acción de fuerzas sísmicas. Este porcentaje depende del tipo de aislamiento utilizado, en el caso del sistema HDRB es de 2.80% mientras en los sistemas LRB y FPS es de 5%.
- Sin importa el tipo de aislamiento implementado, el diseño aislado requiere de profundidades de excavación lo suficientemente altas como para permitir el ingreso de trabajadores que realicen el mantenimiento de las unidades de aislación.
- Los sistemas de aislamiento mitigan la mayor parte de las fuerzas sísmicas mediante el desplazamiento horizontal de la superestructura. Este será distinto en función a la tecnología usada y al límite en el que estudiado.
- Cualquier tipo de aislamiento sísmico implementado presenta valores de derivas mucho menores que los obtenidos en una edificación convencional sin aislamiento bajo las mismas condiciones de fuerzas sísmicas.

- El uso de sistemas de aislamiento incrementa el metrado y presupuesto de estructuras en un 2.00%, a pesar de incluir el incremento de 80% en movimientos de tierras por el aumento del volumen de excavación.
- La tecnología de aislamiento con la mejor respuesta sísmica para estructuras del tipo común como viviendas multifamiliares es el aislamiento HDRB “High Damping Rubber Bearing”. Este sistema provee de altos valores de amortiguamiento de $\beta_{sup}=24.64\%$ y $\beta_{inf}=24.53\%$ con bajo costos reales.
- El sistema HDRB genera los mayores desplazamientos en la base dentro del rango de amortiguamiento permitido, estos serán de 0.510m y 0.183m para periodos de $T_{sup}=3.299s$ y $T_{inf}=1.178s$.
- El sistema HDRB aporta el 24.40% de costos en el presupuesto inicial. Además incrementa los costos en un 35.06%, el menor entre los tres sistemas evaluados, debido a los gastos de instalación y mantenimiento.
- El sistema de aislamiento HDRB reduce los costos reales de la edificación, presupuesto inicial y costos por daño estructural, en mínimo un 1.49%; ya que el porcentaje de reducción se incrementará hasta en un 10% en cuanto más costos no estructurales sean considerados.
- Otros sistemas de aislamiento no representan beneficio para las edificaciones comunes multifamiliares; en su lugar, incrementan el presupuesto inicial entre un 30% a 50% y los costos reales entre un 9% a 15%.
- El sistema FPS, a pesar de proveer de los mayores amortiguamientos, no es apto para ser usado en edificaciones comunes. Su aplicación en estructuras de bajo peso la lleva al sobreamortiguamiento con 41.28% cuando el máximo aceptado es de 30%. En consecuencia, se producirán esfuerzos adicionales que perjudiquen la integridad de la edificación en vez de protegerla.

VI. RECOMENDACIONES

- Debido a la carencia de una normativa y estudios especializados a entender el diseño de los sistemas aislados, se tuvo que recurrir a reglamentos externos con la final de recolectar la información requerida. Por dicha razón, se reitera la necesidad de hacer mapas de espectro de aceleraciones para periodo corto y largo para el terreno nacional.
- La construcción de estructuras aisladas debe limitarse a suelos de tipo rocoso o con capacidad portante de al menos 1kg/cm^2 , de no ser el caso la estructura podría correr riesgo de hundirse en el estrato.
- La profundidad de excavación sugerida es de 3.00m desde nivel de suelo hasta la el solado y 1.95m de altura libre entre cara superior de cimentación a cara inferior de losa de aislamiento.
- Los sistemas de aislamiento son sensibles a vibraciones u otras alteraciones menores que puedan ser producidas por el tránsito vehicular o de maquinarias que pasen cerca de la estructura. Por esa razón, se recomienda complementar el trabajo de los aisladores con dispositivos frágiles que restrinjan su actuar para evitar desgastes innecesarios, y que en la eventualidad de un sismo sean los primeros en fallar permitiendo a los aisladores desplazarse.
- Los pedestales inferiores bajo los aisladores deberán ser al menos el diámetro de la brida inferior y su altura será ajustada de acuerdo a la altura libre requerida en la subestructura
- Conociendo que la estructura tendría un desplazamiento máximo de 0.510m en el aislamiento HDRB se recomienda que la estructura tenga una separación de 1.00m entre otros colindantes, este espacio debería ser suficiente para el desplazamiento de la estructura y permitir el ingreso de personal con otros equipamientos.

VII. LISTA DE REFERENCIAS

- [1] Centro Sísmológico Nacional de la Universidad de Chile, «Sismicidad y Terremotos en Chile,» Centro Sísmológico Nacional de la Universidad de Chile, 2014.
- [2] Revista EMB, «Nuevo Hospital Militar La Reina,» *EMB*, 2010.
- [3] Los Andes, «La construcción antisísmica de Chile ya es modelo en el mundo,» *Los Andes*, 31 Diciembre 2015.
- [4] Andina, «Andina,» 30 12 2015. [En línea]. Available: <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-chile-exporta-conocimiento-antisismico-al-mundo-591760.aspx>. [Último acceso: 2017 04 30].
- [5] R. Antón, «¿Cómo saber si tu vivienda resistirá un terremoto?,» *RPP Noticias*, 16 Agosto 2016.
- [6] La República, «Aislador sísmico, lo último en técnicas de construcción para evitar tragedias,» *La República*, 2015.
- [7] Urbania, «Perú empieza a usar aisladores sísmicos en edificio,» 11 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://urbania.pe/blog/noticia/peru-usa-aisladores-sismicos/>. [Último acceso: 2017 Mayo 28].
- [8] O. J. Espinoza Jiménez y I. A. Pérez Esqueche, «Análisis Comparativo Técnico-Económico para 2 Tipos de Cimentaciones de una Edificación de Concreto Armado de 6 Pisos en las ciudades de Trujillo, Chiclayo y Lima,» Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, 2015.
- [9] Correo, «Gobierno regional y MPCh firmarán convenio para recoger toneladas de basura,» *Diario Correo*, 19 Enero 2019.
- [10] A. kamrava, «Seismic Isolators and their Types,» *Current World Environment*, pp. 27-32, 2015.

- [11] J. J. Valerio Zacarias, «Análisis Comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos,» UPB BarcelonaTech, Barcelona, 2015.
- [12] R. Aguiar, D. Mora y E. Tipanlui, «El método del espectro de capacidad en estructuras con aisladores FPT con Ceinci-Lab,» *Ciencia*, pp. 21-45, 2016.
- [13] R. Aguiar, E. Morales, B. Guaygua y M. Rodríguez, «Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para*, 2016.
- [14] J. A. Oviendo, «Protección Sísmica y Reforzamiento de Edificaciones a través de Sistemas no Convencionales,» de *Simposio de Ingeniería de Materiales y Estructuras*, Bogota, 2015.
- [15] Y. Y. Aguirre Amez y L. F. Huallanca Parra, «Influencia de la esbeltez en el comportamiento estructural de los edificios con aislamiento de base,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2016.
- [16] Departamento de Mecánica Estructural, «Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado fino,» Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, San Salvador.
- [17] W. R. Serquén, «Capacidad Portante de los Suelos,» Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Chiclayo.
- [18] G. Duque Escobar, Manual de geología para ingenieros, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [19] M. A. Díaz Pardavé, «Clasificación de Suelos SUCS,» Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- [20] Instituto Mexicano de Transporte, «Método de prueba estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino,» Instituto Mexicano de Transporte, México.

- [21] A. J. Puy Santín, «Posible Efecto de la Temperatura en el Límite Líquido de los Suelos.,» Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Barcelona, 2005.
- [22] Instituto Mexicano de Transporte, «Método estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso,» Instituto Mexicano de Transporte, Mexico.
- [23] Departamento de Mecánica Estructural, «Análisis de Tamaño de Partículas por Tamizado en Agregado Fino y Grueso y Determinación de Material más Fino que el Tamiz No. 200 (75 M) En Agregado Mineral por Lavado,» Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, San Salvador.
- [24] Comisión de Reglamentos Técnicos Comerciales, «NTP 339.128, Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico,» Comisión de Reglamentos Técnicos Comerciales, Lima, 1999.
- [25] A. Polanco Rodríguez , «Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto.,» Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua.
- [26] R. Jeria H., «Curso Laboratorista Vial Clase C,» Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- [27] E. Juarez Badillo y R. Rodríguez, Mecánica de Suelos, vol. 2, México: Editorial LIMUSA, 2010.
- [28] Rivva López, Naturaleza y Materiales para el Concreto, Lima: Capitulo Peruano ACI, 2008.
- [29] S. Mejía Conde, «Estudio sobre el Efecto de las cuantías Límite de Acero de Refuerzo en el Comportamiento de Elementos Lineales ante la Demanda de Flexión,» Ciudad Universitaria México D. F., México D.F, 2010.
- [30] G. Ottazzi Pasino, Diseño en Concreto Armado, Lima: Asociación del Capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto - ACI Perú, 2006.

- [31] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Norma Técnica de Edificación E0.60 Concreto Armado, Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009.
- [32] E. Cabrera Cabrera, «Diseño Estructural en Concreto Armado de un Edificio de Nueve Pisos,» Universidad de Piura, Piura, 2003.
- [33] American Concrete Institute, Building Code Requirements (ACI 318 - 19), Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019.
- [34] J. S. Domingo Santillana, «Flexión: Tensiones,» Universidad de Salamanca, Salamanca, 2008.
- [35] National Institute of Building Sciences Building Seismic Safety Council, «Earthquake-Resistant Design Concepts,» National Institute of Building Sciences Building Seismic Safety Council, Washington DC, 2010.
- [36] A. P. Boresi y R. J. Schwind, Advanced Mechanics Materials, vol. 6th Edición, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [37] D. Miramontes De León, J. A. Garamendi H., G. Márquez C., . C. A. Ávalos López y G. A. Pimentel T., «NTC y Ayudas de Diseño Digitalizadas para el Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado,» Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, México.
- [38] J. Perelli, Resistencia de Materiales, Elasticidad y Plasticidad, Madrir: RETINEO, 2013.
- [39] Universidad Politécnica de Valencia, «Características Mecánicas de los Materiales,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [40] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, «Pruebas de Resistencia a la Compresión del Concreto,» Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Mexico, 2006.

- [41] W. T. Segui, «Introducción al Diseño de Estructuras de Acero,» de *Diseño de Estructuras de Acero con LRFD*, México, International Thomson Editores, 1999, pp. 1-23.
- [42] UNC - Facultas de Ingeniería, «Esfuerzos a la Tracción y Compresión,» UNC - Facultas de Ingeniería, Mendoza.
- [43] J. E. Salazar Trujillo, Resistencia de Materiales Básica para Estudiantes de Ingeniería, Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [44] N. Jaramillo S., *Fuerza Cortante y Momento Flector*, Mérida: Universidad de los Andes.
- [45] R. Imaz Gutiérrez, «Flexión Pura y Flexión Simple,» Universidad de Cantabria, Cantabria.
- [46] V. Badiola, «Principios Básicos de Resistencia de Materiales,» Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales, Navarra, 2004.
- [47] G. Daza Hernández, «Torsión,» de *Resistencia de los Materiales*, Concepción, Universidad Técnica Federico Santa María, 2008, pp. 41 - 50.
- [48] R. Durazo, «Elasticidad: Ley de Hooke,» Facultad de Ciencias Marinas, México.
- [49] E. S. Gutiérrez-Wing, G. Vélez-Castán, J. Bedolla-Hernández, D. Szwedowicz-Wasik y C. Cortés-García, «Identificación de modos cercanos de vibración de una estructura cuasi-axisimétrica: estudio complementario,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XIV, n° 2, pp. 207 - 222, 2013.
- [50] C. Campos, «Movimiento Armónico Simple,» Proyecto Newton, España.
- [51] M. d. C. Cornejo Serrano, E. B. Villalobos Oliver, S. Molina Reséndiz y W. G. Arreola Galván, «Sistema Masa Resorte con Movimiento Libre Amortiguado, Casos: Sobreamortiguado, Críticamente Amortiguado y Subamortiguado, su Modelado Y Solución, con el Apoyo de Geogebra,» *Pistas Educativas*, vol. 38, n° 121, pp. 61 - 80, 2016.

- [52] D. Muñoz, «Conceptos Básicos en Riesgo Sísmico,» de *Física de la Tierra*, Madrid, Universidad Complutense de Madrid, 1989, pp. 199-215.
- [53] Universidad de Alicante, *Peligrosidad Sísmica*, Alicante: Universidad de Alicante.
- [54] Y. Cáceres Callo y C. A. Aquino Mamani, «Aislamiento Sísmico de un Hospital de 4 Niveles,» Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2017.
- [55] Bridgestone, «Seismic Isolation Product Line-up,» Bridgestone, 2017.
- [56] FIP INDUSTRIALE, «Lead Rubber Bearing,» FIP INDUSTRIALE.
- [57] FIP INDUSTRIALE, «Curves Surface Sliders,» FIP Industriale.
- [58] M. Elabd, «Effect of composite action on the dynamic behaviour of space structures,» University of Dundee, Dundee, 2009.
- [59] American Society of Civil Engineers, «Seismic Design Requirements for Seismically Isolated Structures,» de *American Society of Civil Engineers. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, Virginia, American Society of Civil Engineers, 2017, pp. 167-178.
- [60] The Concrete Society, *Characteristic strength*, Reino Unido: The Concrete Society.
- [61] J. H. Chumpitaz Martinez, «Procedimiento de Análisis y Diseño para Edificios Sísmicamente Aislado en el Perú,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [62] G. P. Warn, A. S. Whittaker y M. C. Constantinou, «Vertical Stiffness of Elastomeric and Lead–Rubber Seismic Isolation Bearings,» *Journal of Structural Engineering*, n° 133, pp. 1227-1236, 2007.
- [63] M. D. Riera, M. A. Sánchez-Soto, A. Gordillo y J. M. Prado, «Modelización y Simulación del Comportamiento Mecánico de Materiales Elastoméricos,» de *IX Reunión de Usuarios de ABAQUS*, Madrid, 2001.
- [64] Compañía Peruana de Estudio de Mercados y Opinión Pública, «Perú: Población 2017,» Compañía Peruana de Estudio de Mercados y Opinión Pública, 2017.

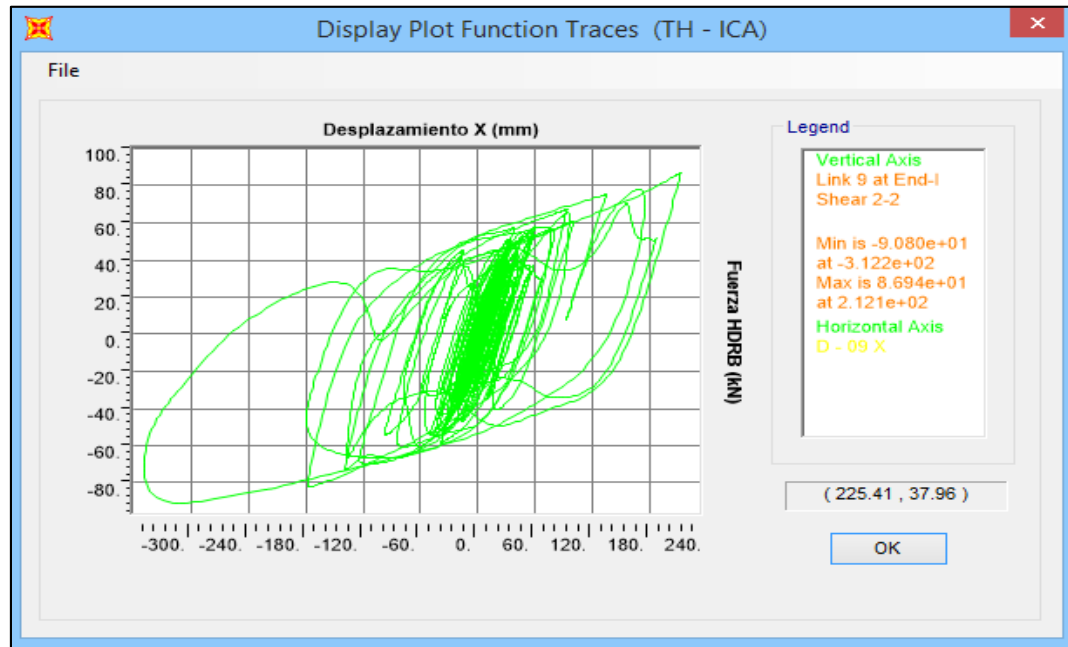
- [65] RPP Noticias, «Lambayeque: Silencio sísmico preocupa a autoridades de Defensa Civil,» *RPP Noticias*, 11 Junio 2012.
- [66] R. Morales Morales, *Diseño en Concreto Armado*, Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- [67] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma Técnica de Edificación E0.30 Diseño Sismoresistente,» Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, 2018.
- [68] Universidad de las Ámericas de Puebla, *Efectos de Esbeltez*, Puebla: Universidad de las Ámericas Puebla.
- [69] R. Morales, *Diseño en Concreto Armado*, Lima: ACI Perú.
- [70] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Norma Técnica de Edificación E0.20 Cargas,» Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, 2017.
- [71] E. Gamio, J. E. Alva H., H. Scaletti F., L. Zegarra C., J. Rivera F., R. Morales M., C. Casabonne R., L. Cunza L. y S. Soto Q., *Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones*, Lima: ACI Capítulo Peruano, 1997.
- [72] R. Park y T. Paulay, *Estructuras de Concreto Reforzado*, México: LIMUSA, 1978.
- [73] V. Toledo Espinoza, «Análisis de la Peligrosidad para el Perú,» Toledo Espinoza, Vlacev, España.
- [74] American Society of Civil Engineers, «Seismic Design Criteria,» de *American Society of Civil Engineers. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, Virginia, American Society of Civil Engineering, 2017, pp. 77 - 87.
- [75] V. Toledo Espinoza, «Cálculo y Diseño de Edificios con Aisladores Sísmicos,» de *Cálculo y Diseño de Edificios con Aisladores Sísmicos*, Lima, 2019.

- [76] D. M. Fenz y M. C. Constantinou, «Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior Experimental verification,» *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 37, pp. 185 - 205, 2008.
- [77] P. W. Ruiz Castro, , «Análisis y Diseño de Edificios con Aisladores,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [78] A. K. Shah y V. Panchal, «Seismic Response of Elevated Liquid Storage Steel Tank with Triple Friction Pendulum System at Base of Tower Under Near- Fault Ground Motion,» *Kalpa Publications in Civil Engineering*, vol. 1, pp. 450 - 455, 2017.
- [79] DIESPRO Ingenieros Estructurales, «Sistema de Protección Sísmica en Edificaciones,» DIESPRO Ingenieros Estructurales, Lima.
- [80] J. A. Arriagada Rosas , «Aislamiento Sísmico de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional),» Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2005.
- [81] M. Leyton Bradley, «Implementación de Aisladores Sísmicos,» Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.

VIII. ANEXOS

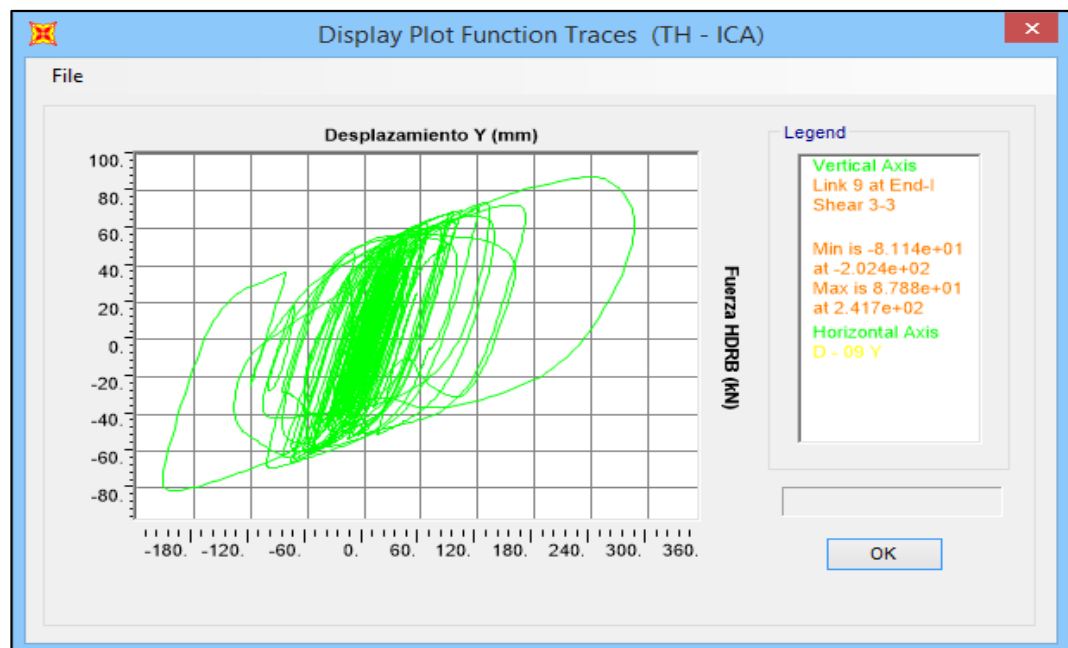
Comportamiento Histerético HDRB en Límite Inferior

Anexo N° 1 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 1” para Ica (2007)



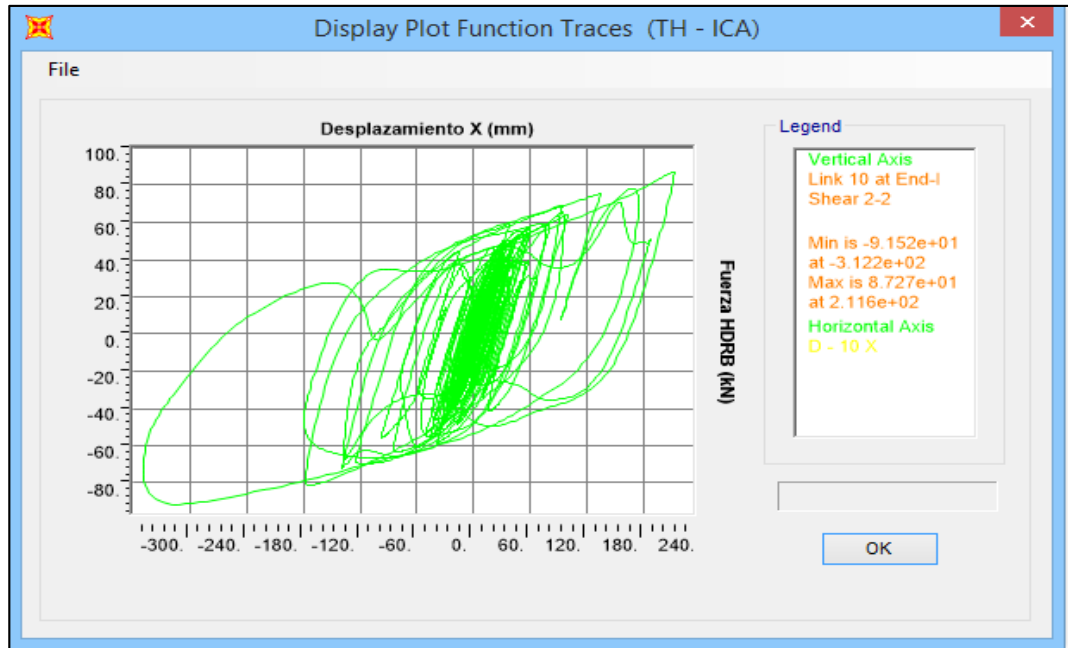
Fuente: Propia

Anexo N° 2 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 1” para Ica (2007)



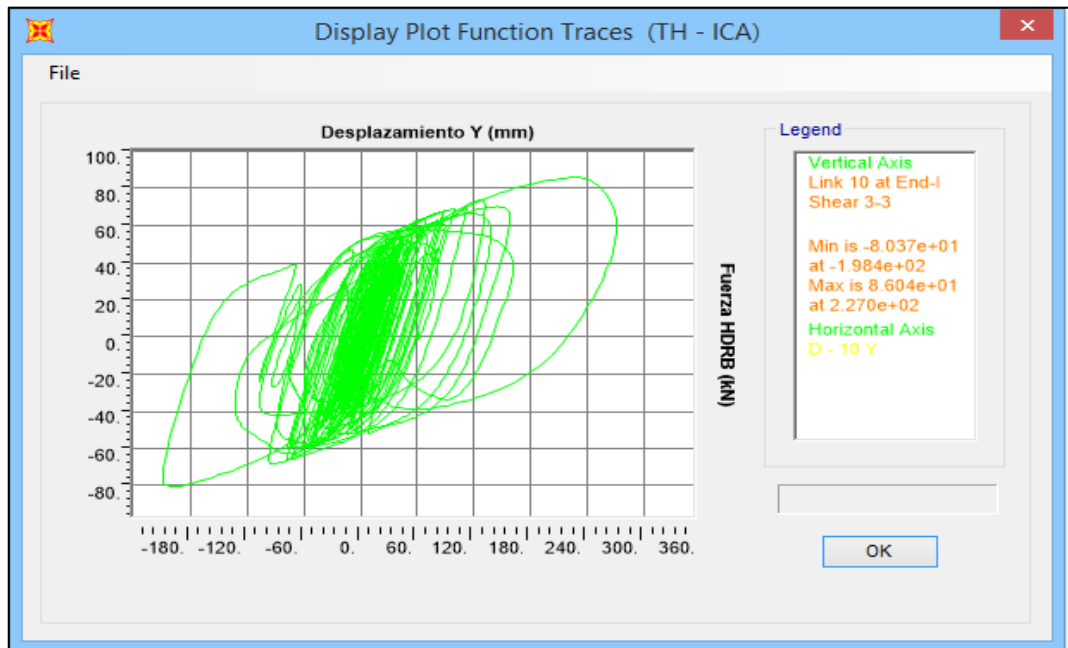
Fuente: Propia

Anexo N° 3 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “B – 1” para Ica (2007)



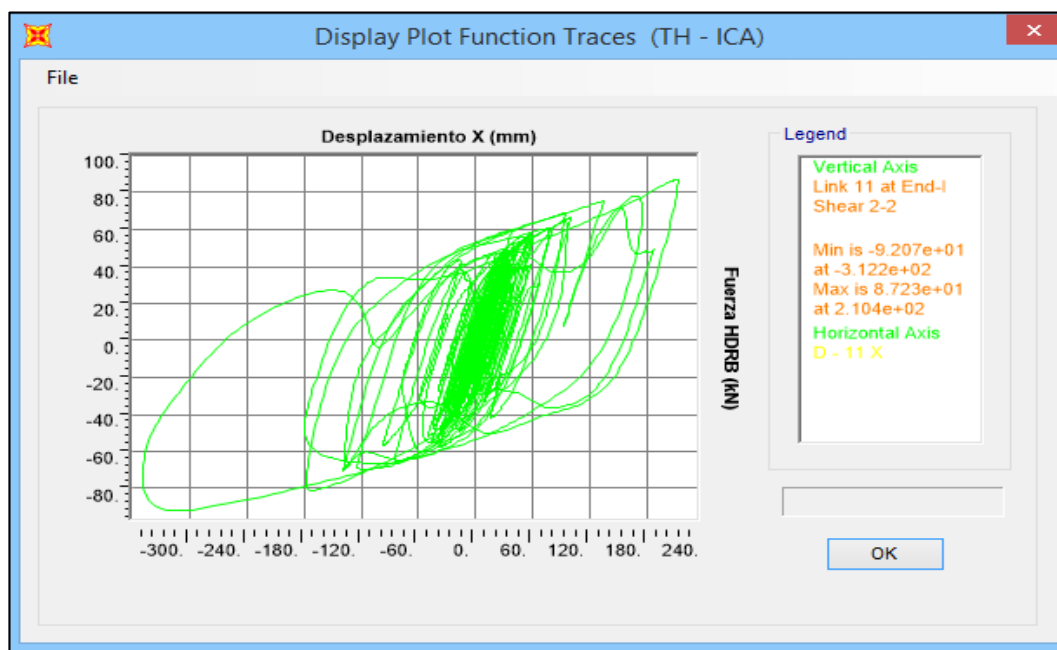
Fuente: Propia

Anexo N° 4 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “B – 1” para Ica (2007)



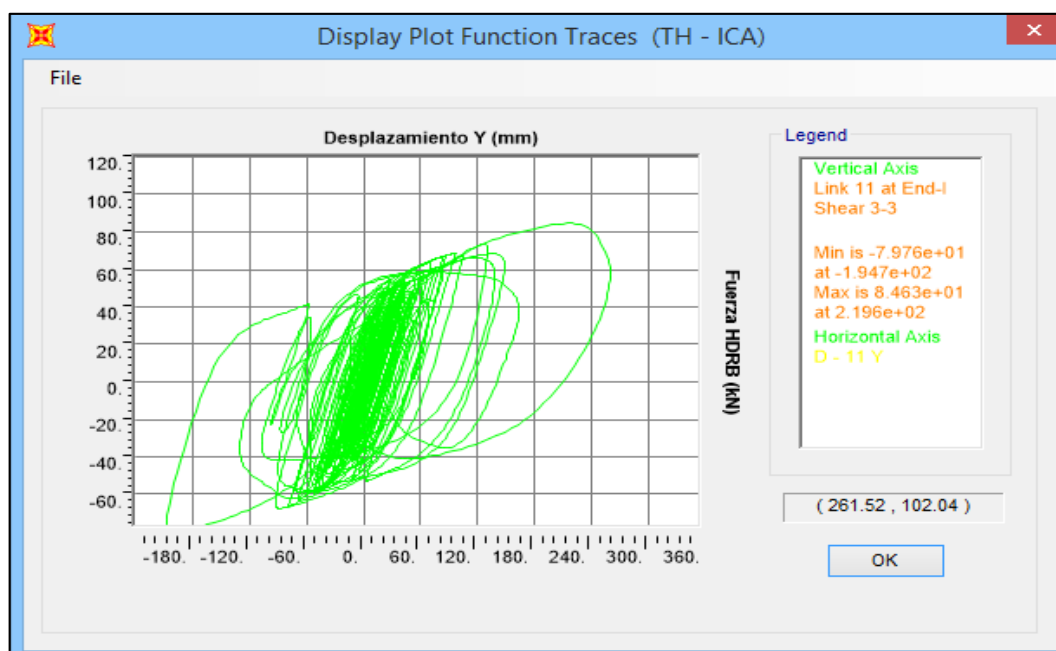
Fuente: Propia

Anexo N° 5 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 1” para Ica (2007)



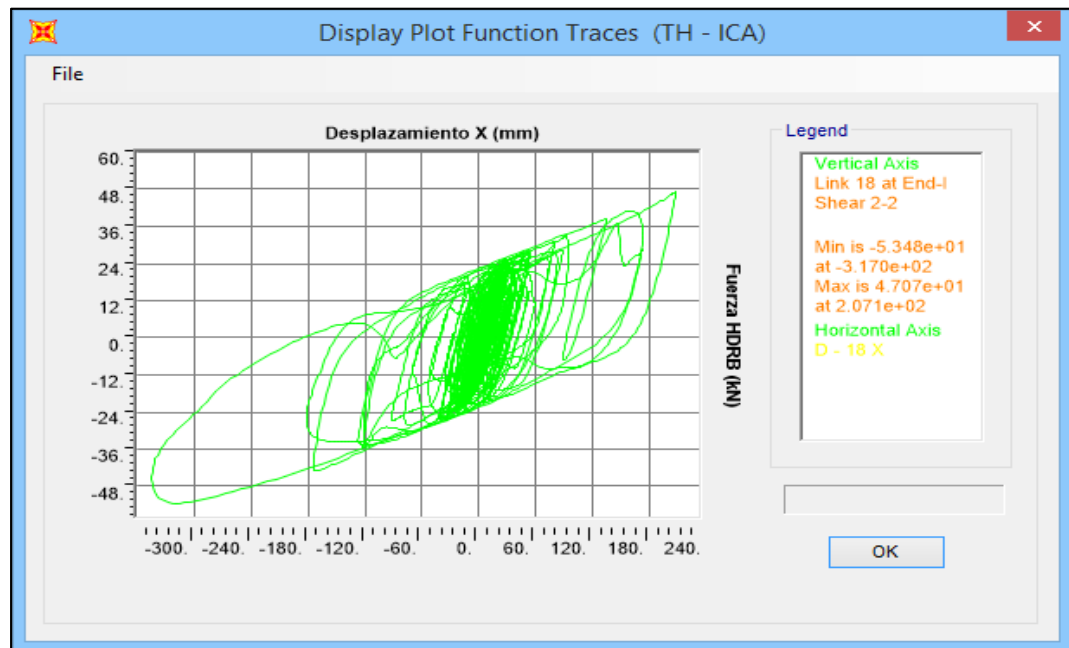
Fuente: Propia

Anexo N° 6 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 1” para Ica (2007)



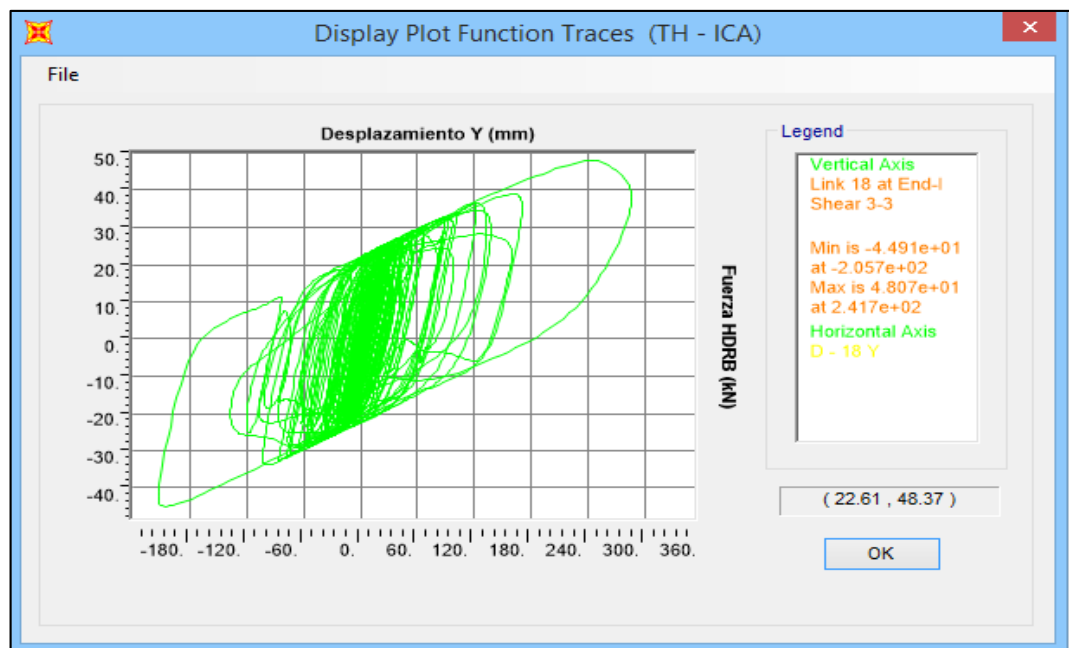
Fuente: Propia

Anexo N° 7 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “A – 2” para Ica (2007)



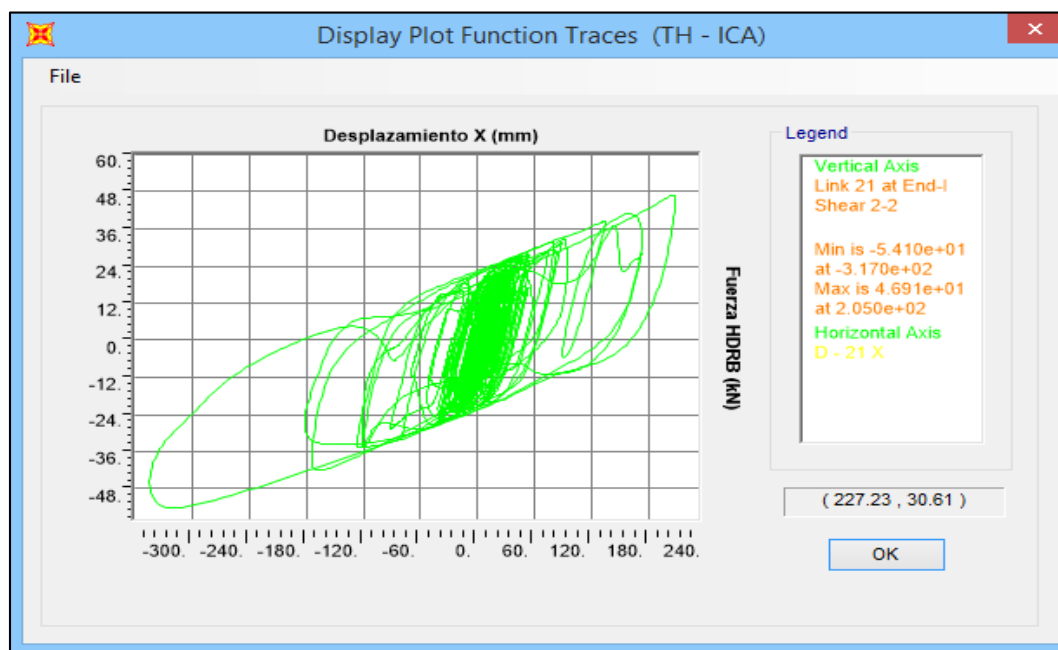
Fuente: Propia

Anexo N° 8 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “A – 2” para Ica (2007)



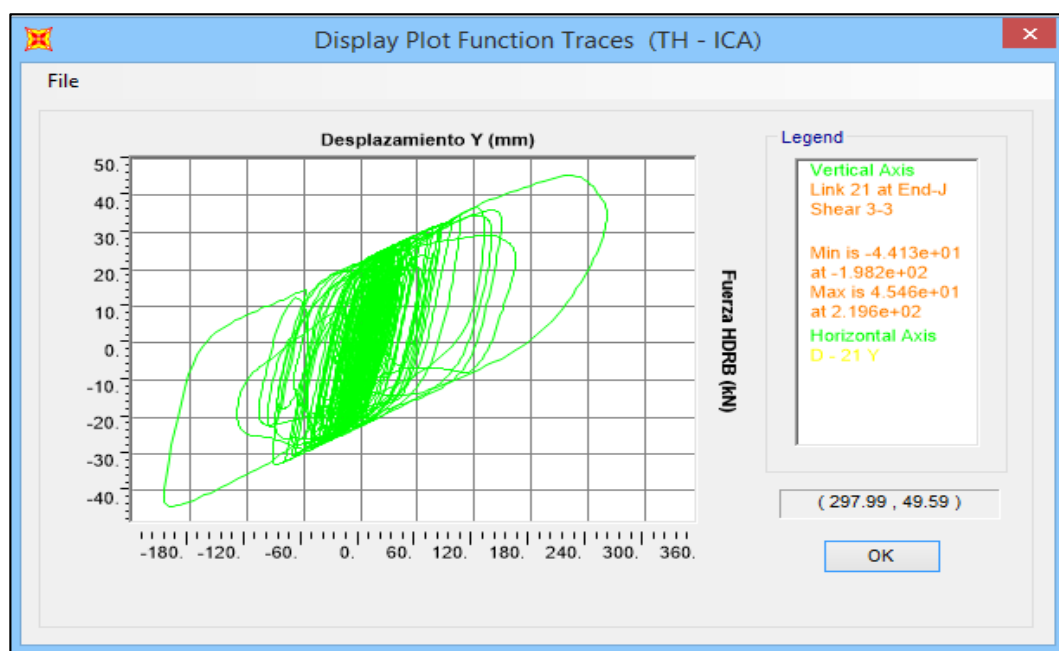
Fuente: Propia

Anexo N° 9 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “C – 2” para Ica (2007)



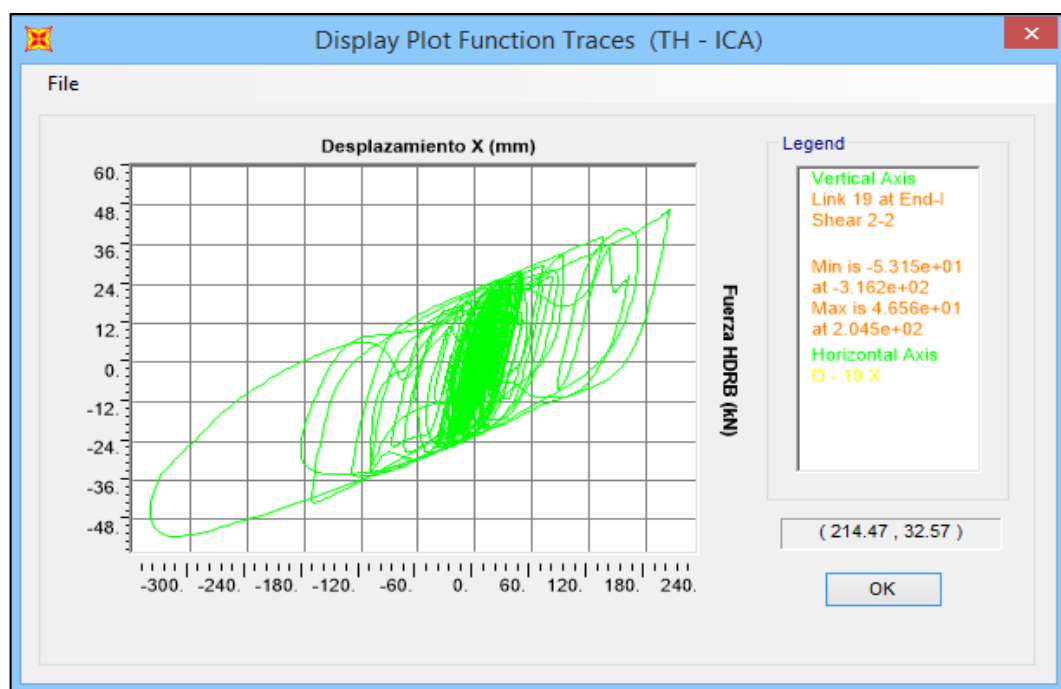
Fuente: Propia

Anexo N° 10 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “C – 2” para Ica (2007)



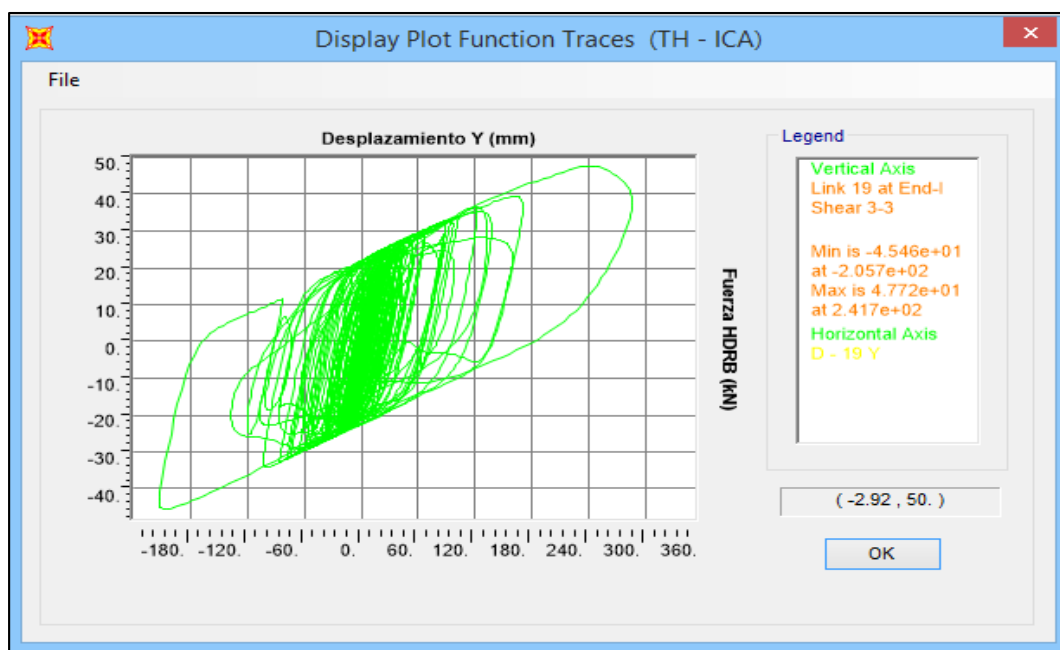
Fuente: Propia

Anexo N° 11 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “A – 3” para Ica (2007)



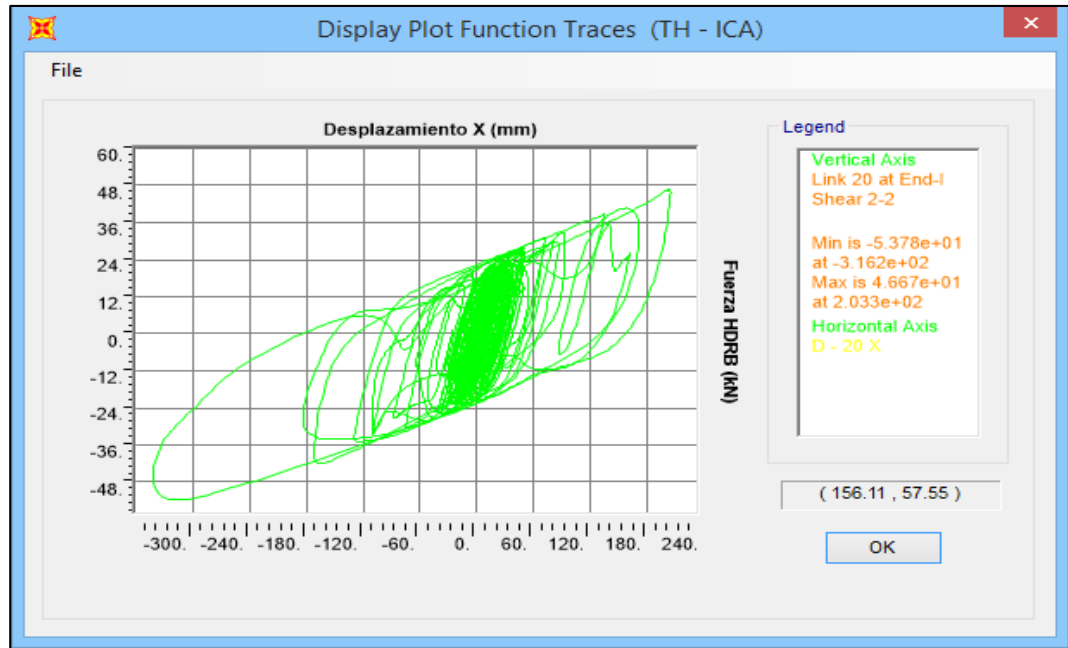
Fuente: Propia

Anexo N° 12 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “A – 3” para Ica (2007)



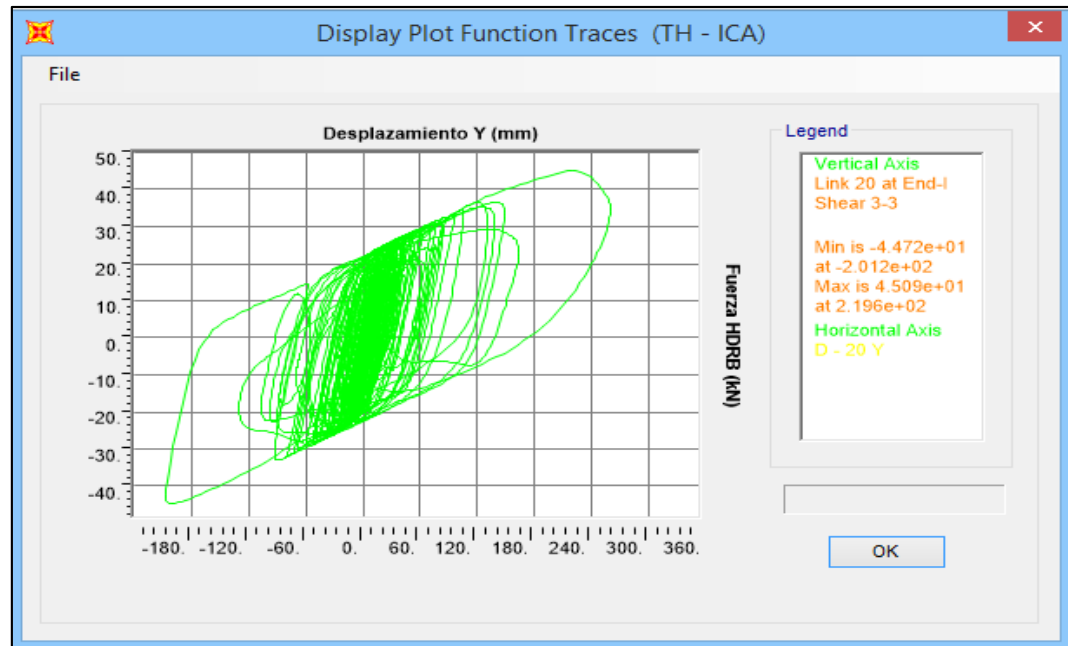
Fuente: Propia

Anexo N° 13 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “C – 3” para Ica (2007)



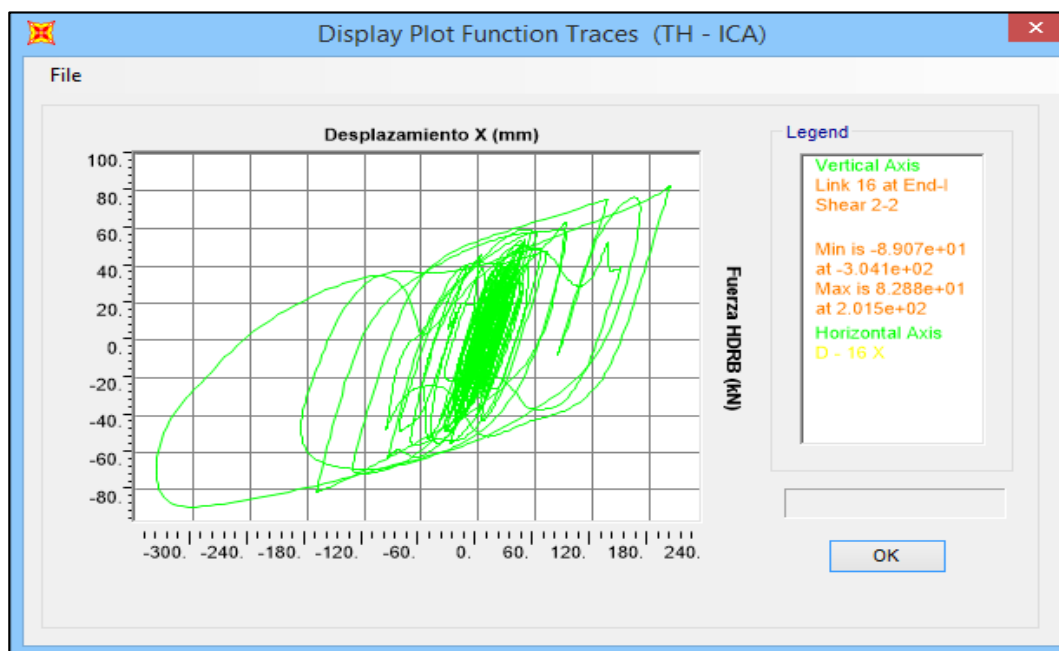
Fuente: Propia

Anexo N° 14 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “C – 3” para Ica (2007)



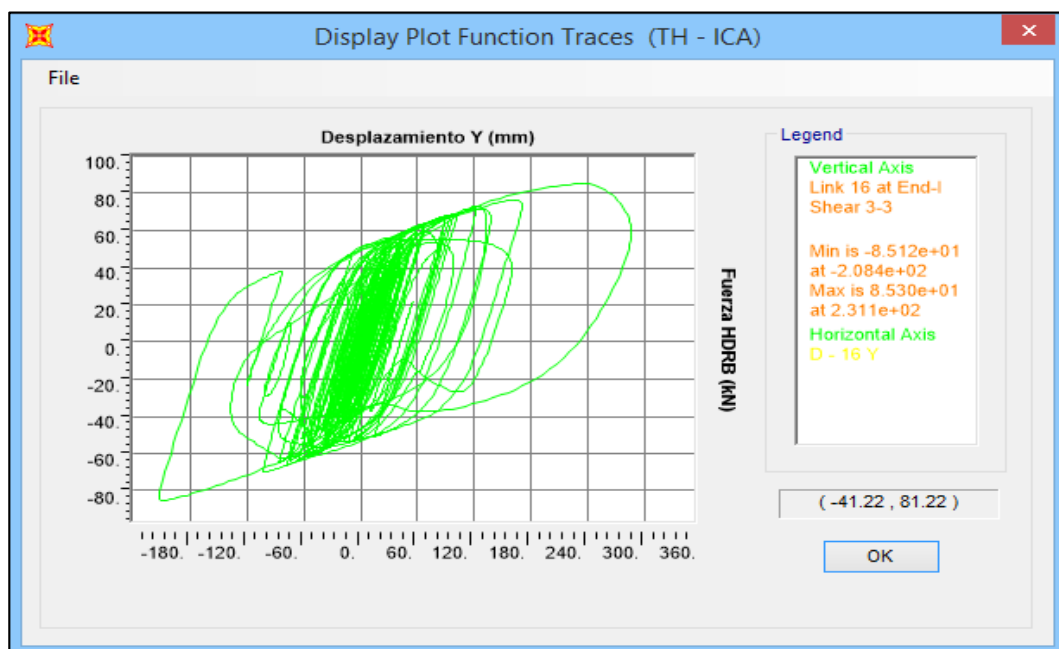
Fuente: Propia

Anexo N° 15 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 4” para Ica (2007)



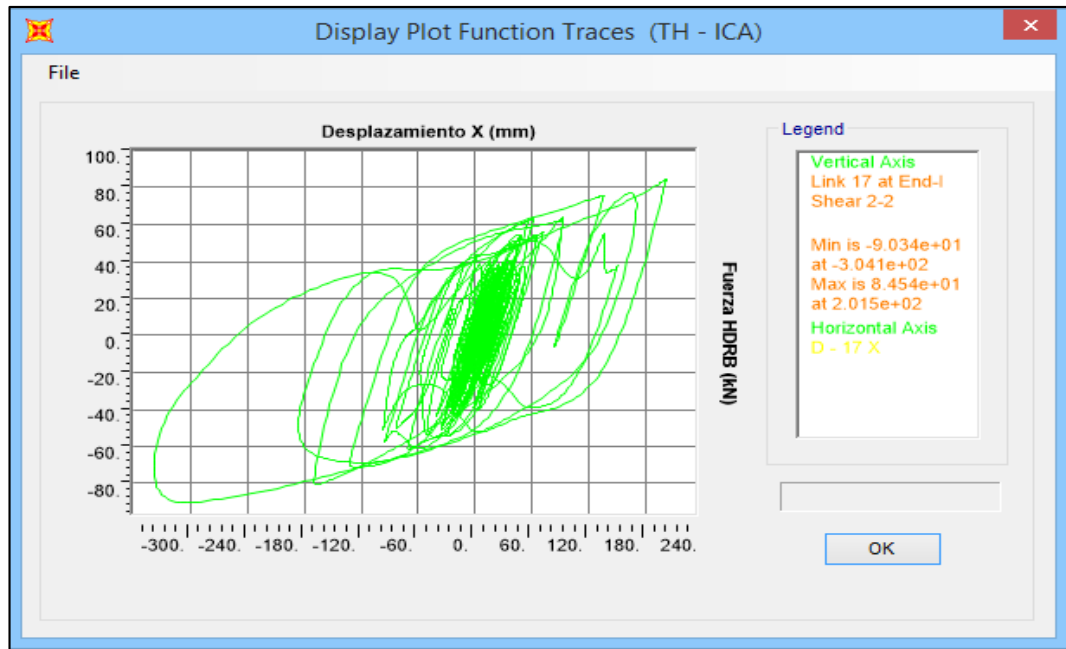
Fuente: Propia

Anexo N° 16 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 4” para Ica (2007)



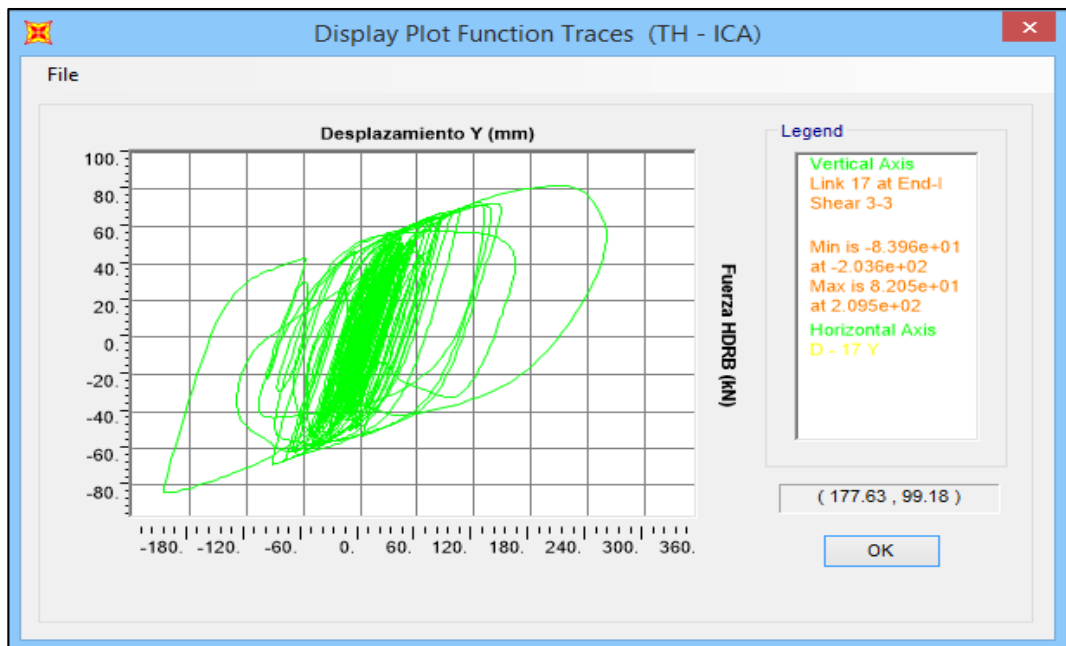
Fuente: Propia

Anexo N° 17 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 4” para Ica (2007)



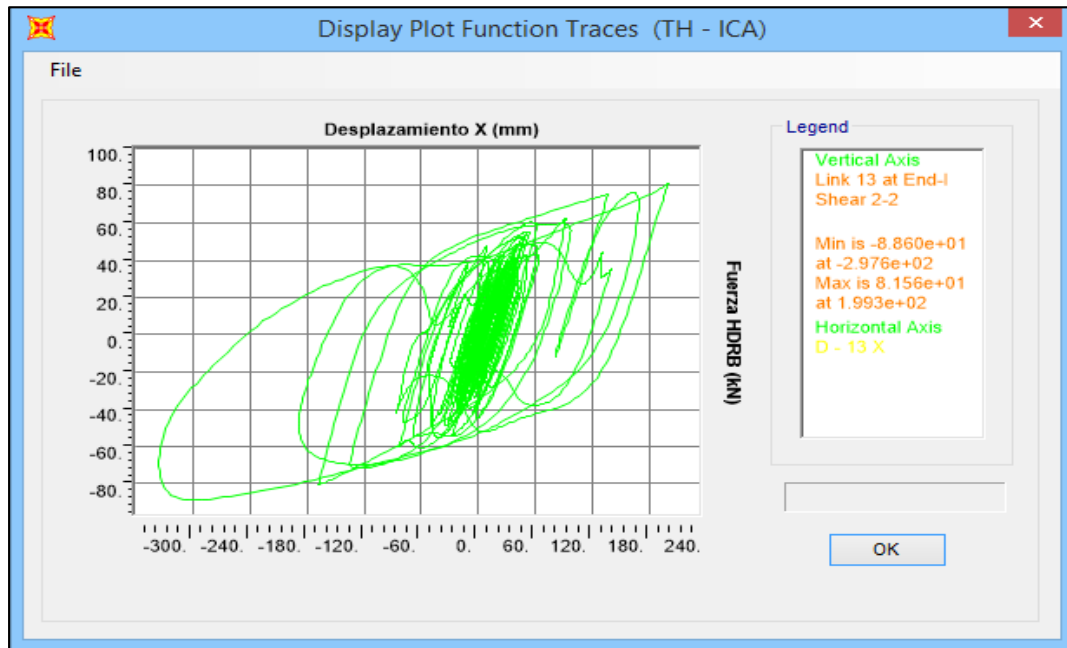
Fuente: Propia

Anexo N° 18 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 4” para Ica (2007)



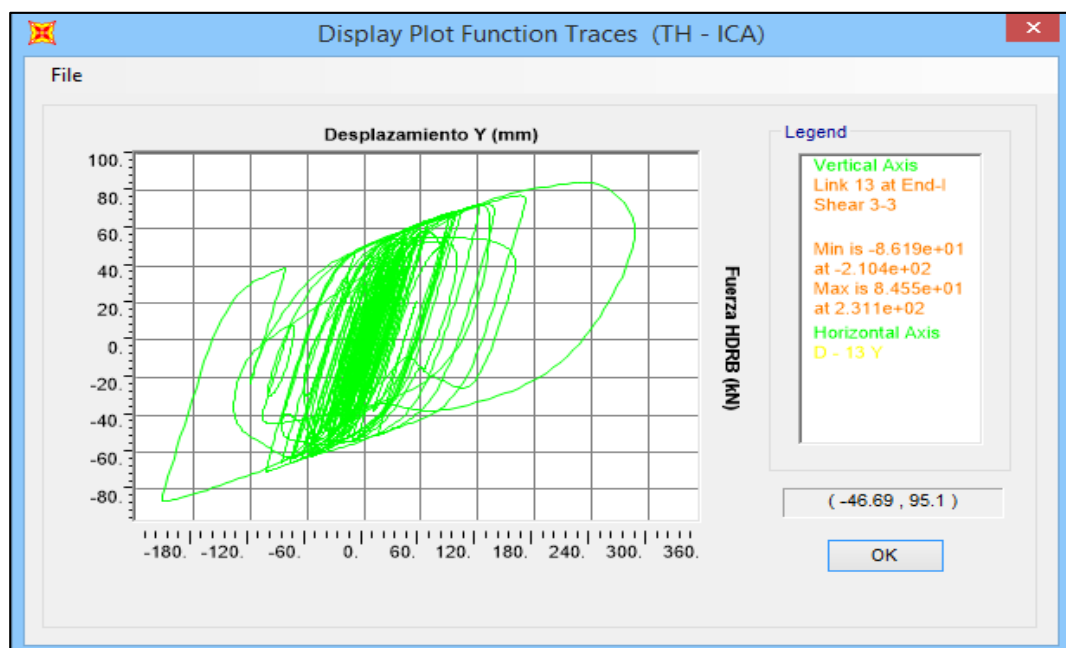
Fuente: Propia

Anexo N° 19 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 5” para Ica (2007)



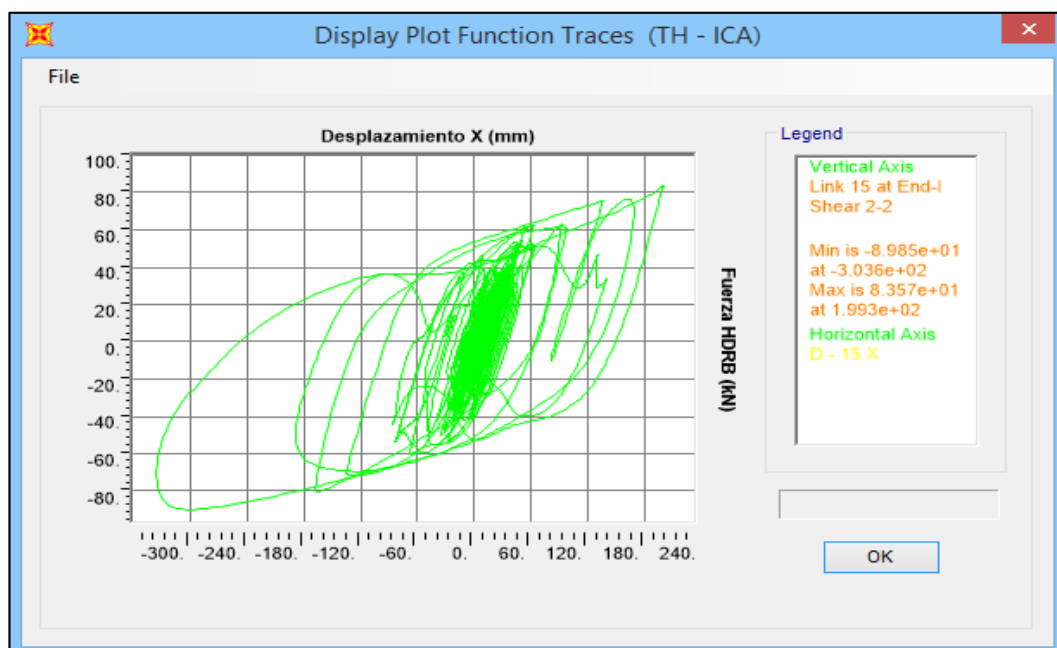
Fuente: Propia

Anexo N° 20 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 5” para Ica (2007)



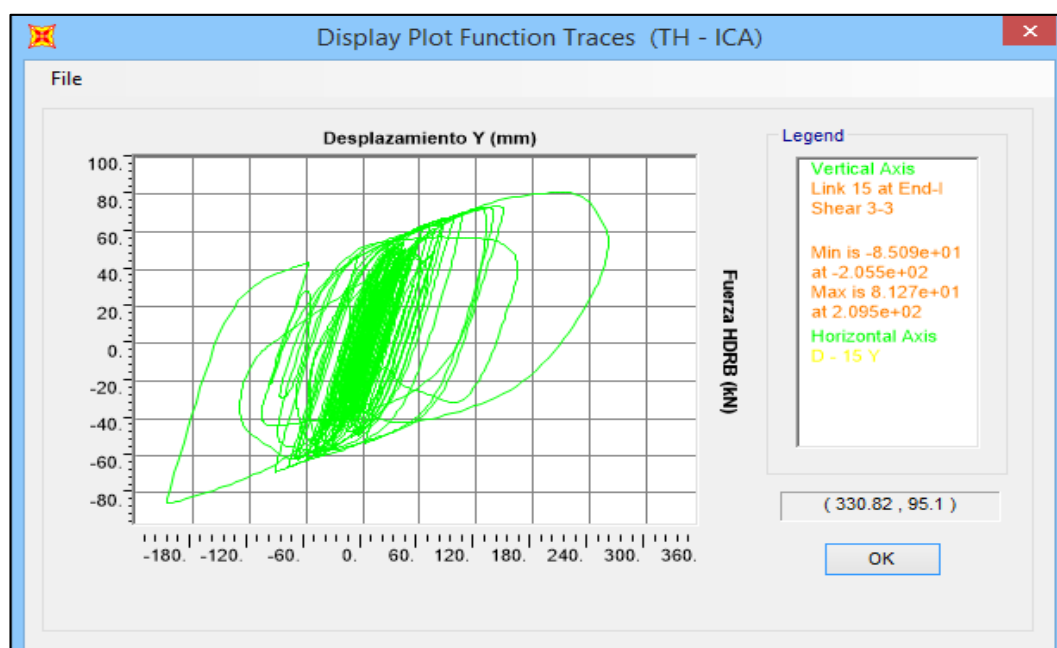
Fuente: Propia

Anexo N° 21 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 5” para Ica (2007)



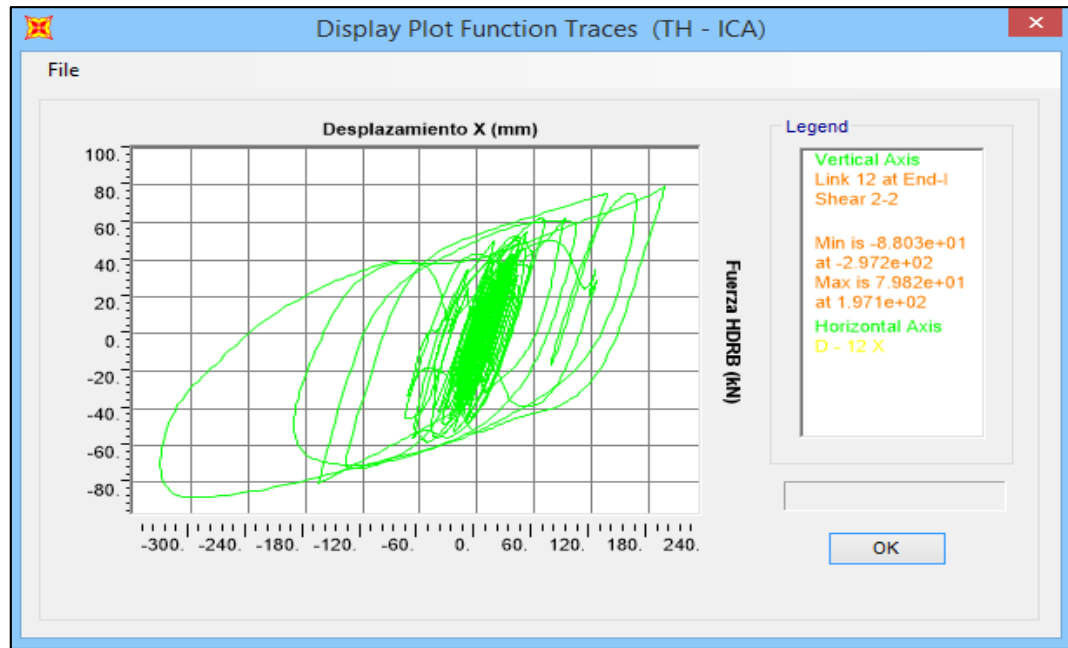
Fuente: Propia

Anexo N° 22 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 5” para Ica (2007)



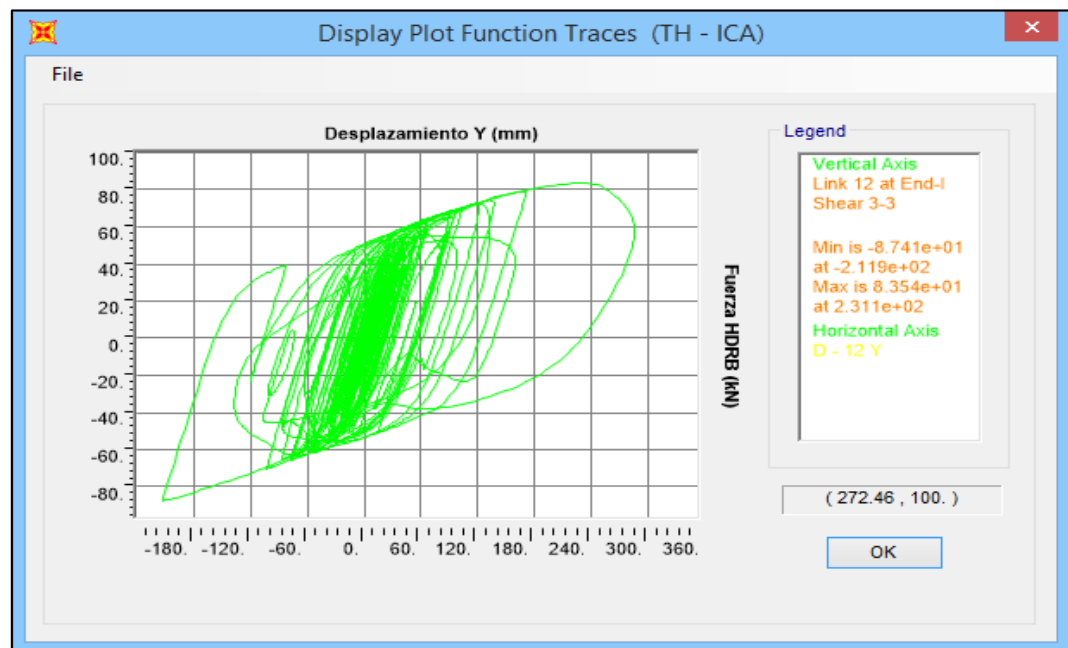
Fuente: Propia

Anexo N° 23 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 6” para Ica (2007)



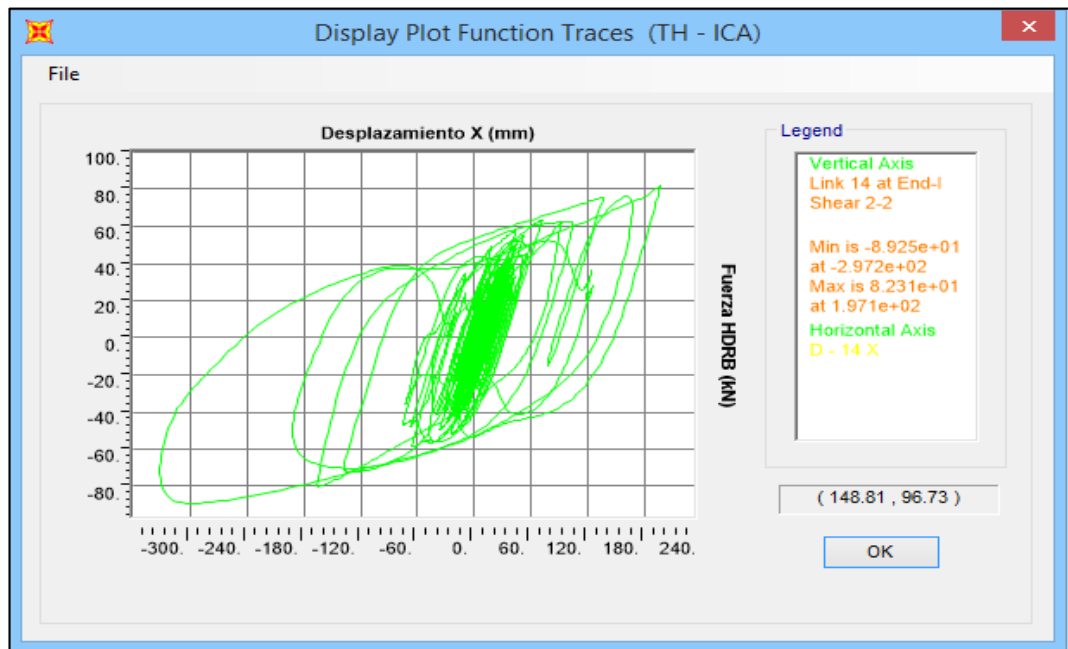
Fuente: Propia

Anexo N° 24 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 6” para Ica (2007)



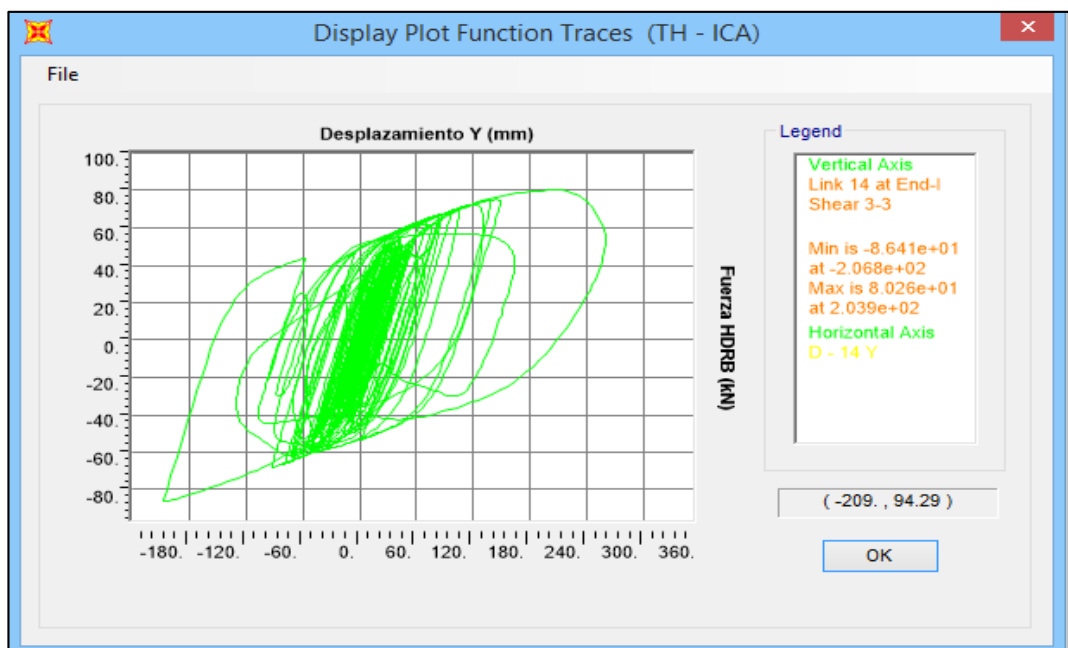
Fuente: Propia

Anexo N° 25 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 6” para Ica (2007)



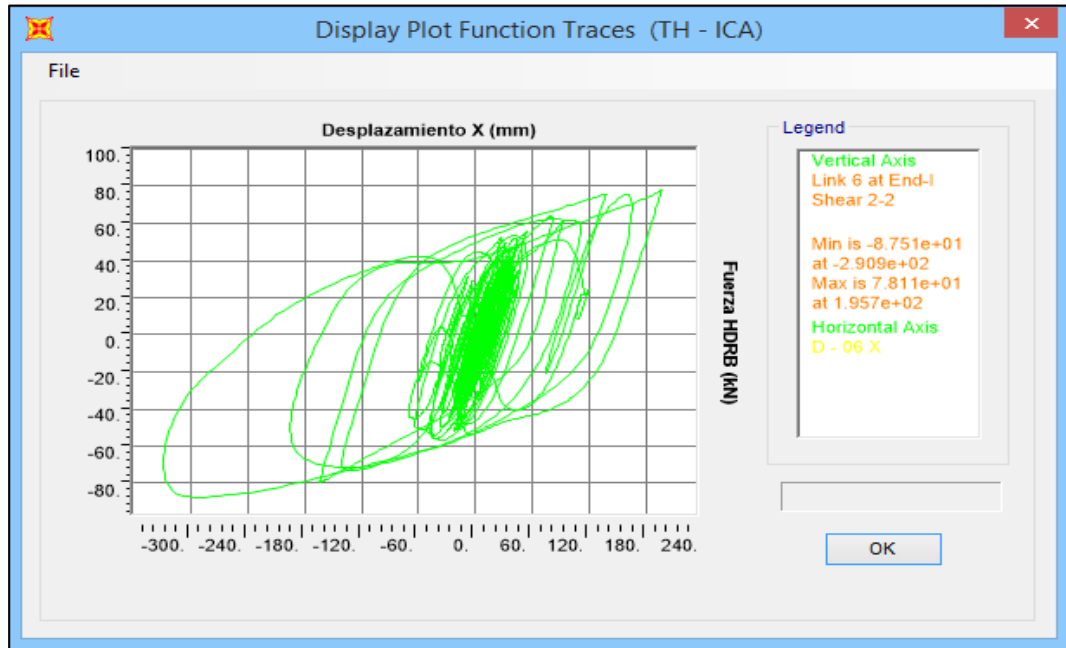
Fuente: Propia

Anexo N° 26 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 6” para Ica (2007)



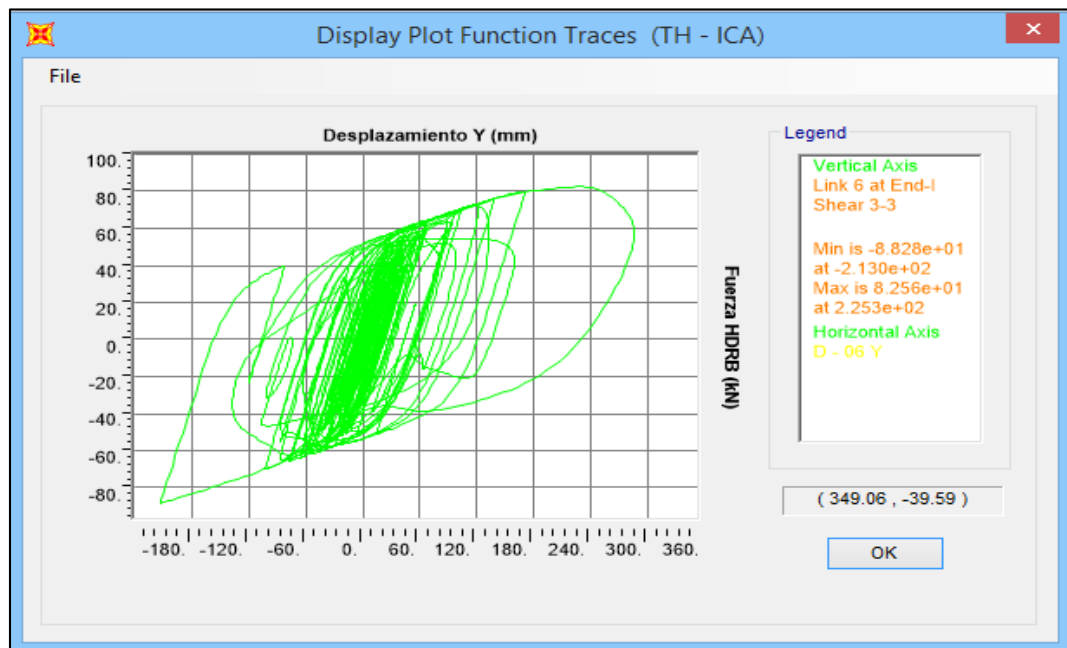
Fuente: Propia

Anexo N° 27 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 7” para Ica (2007)



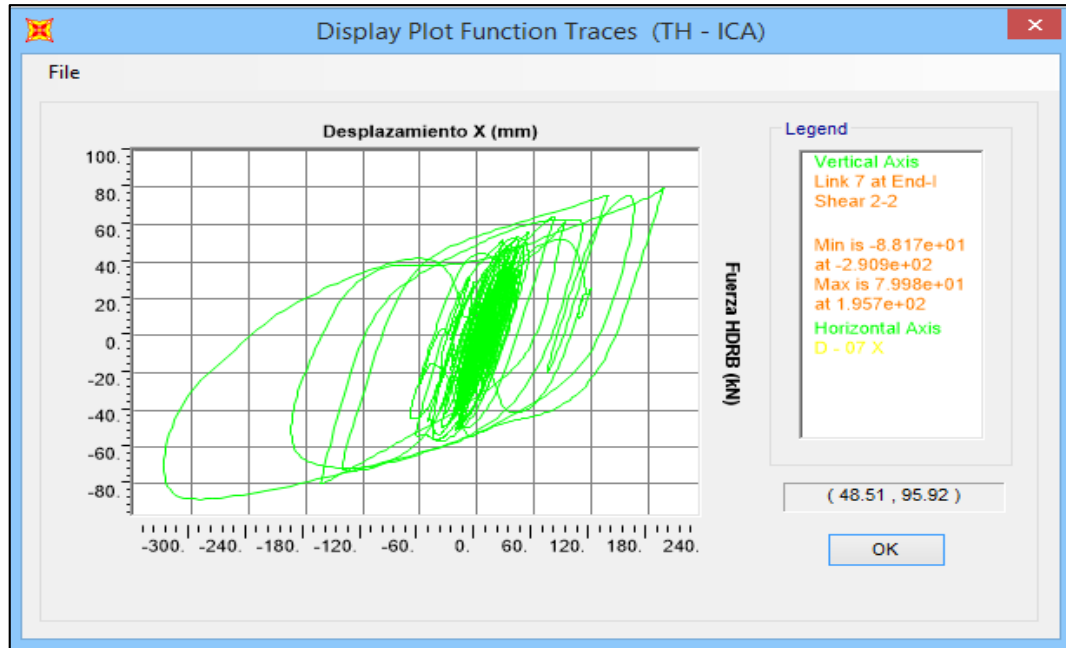
Fuente: Propia

Anexo N° 28 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 7” para Ica (2007)



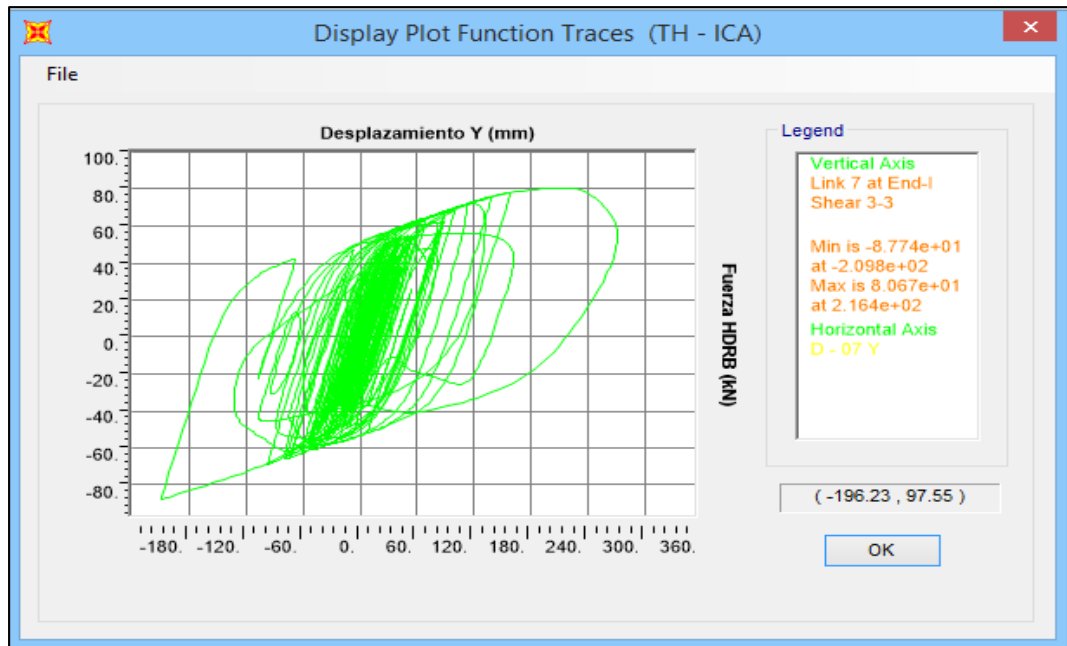
Fuente: Propia

Anexo N° 29 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “B – 7” para Ica (2007)



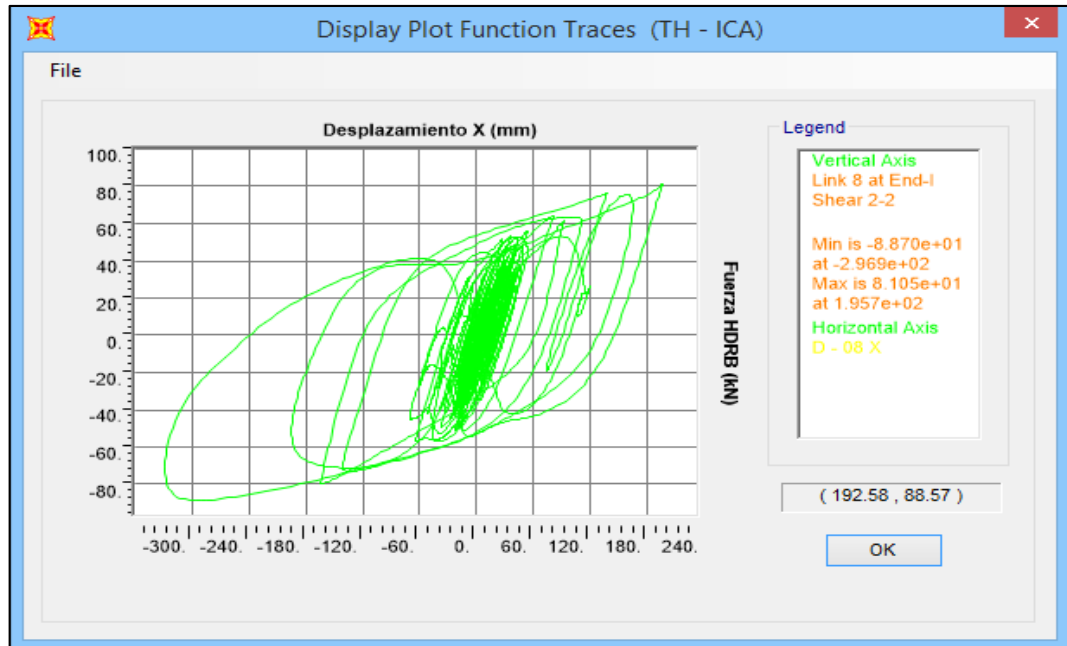
Fuente: Propia

Anexo N° 30 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “B – 7” para Ica (2007)



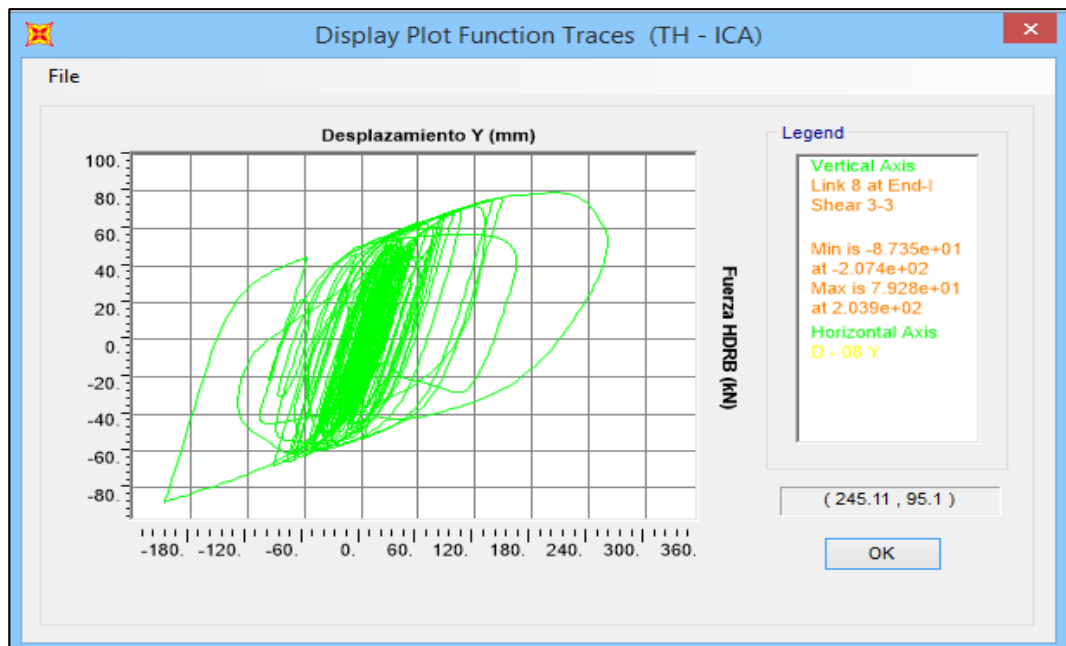
Fuente: Propia

Anexo N° 31 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

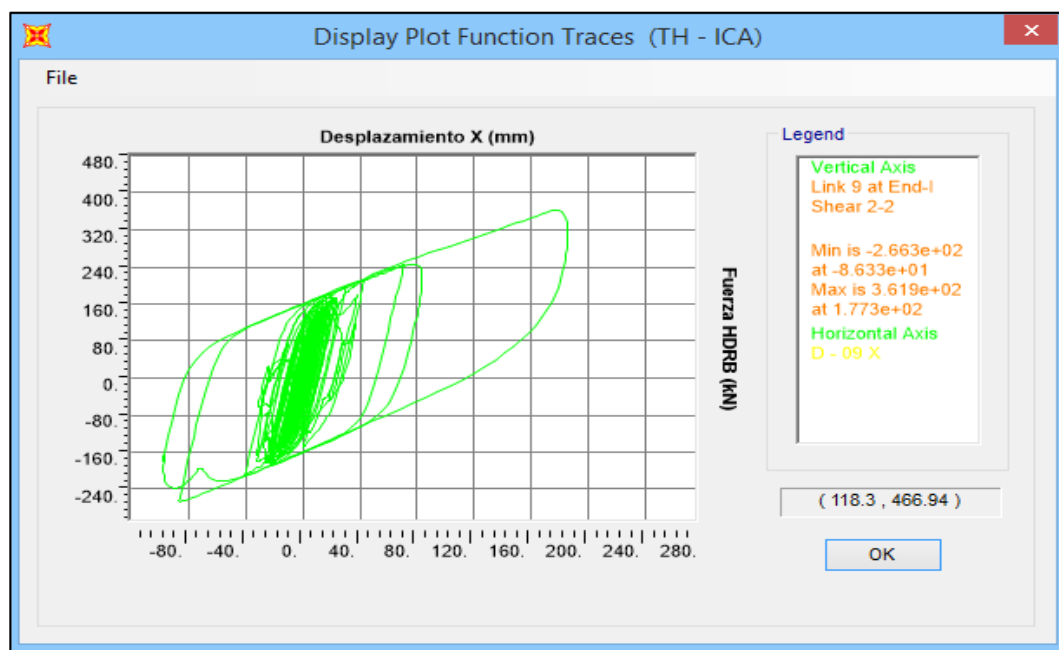
Anexo N° 32 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

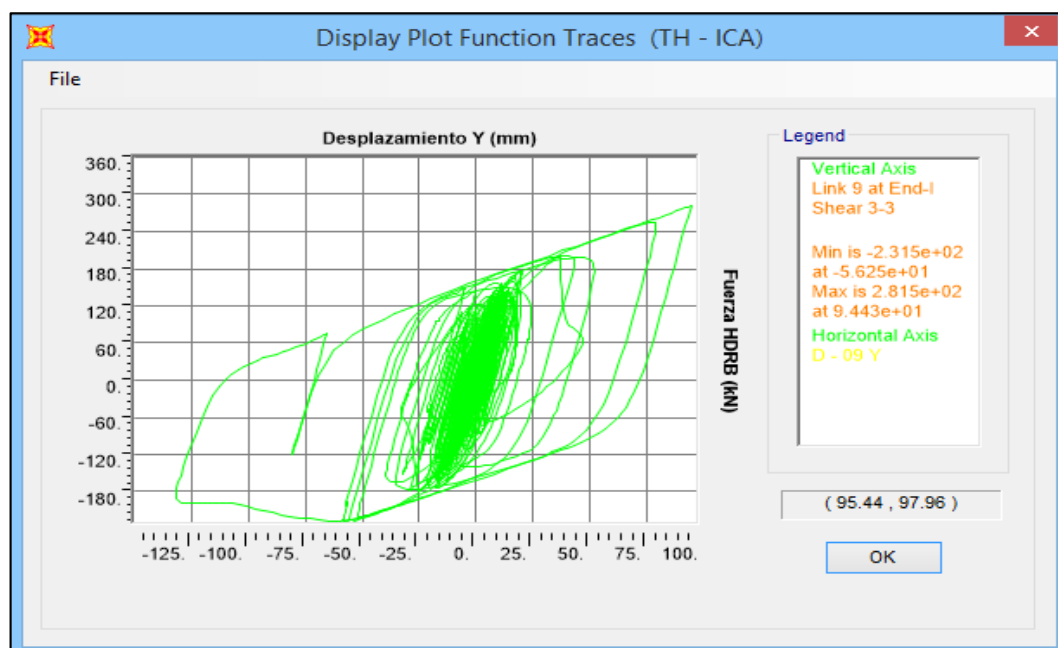
Comportamiento Histerético HDRB en Límite Superior

Anexo N° 33 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 1” para Ica (2007)



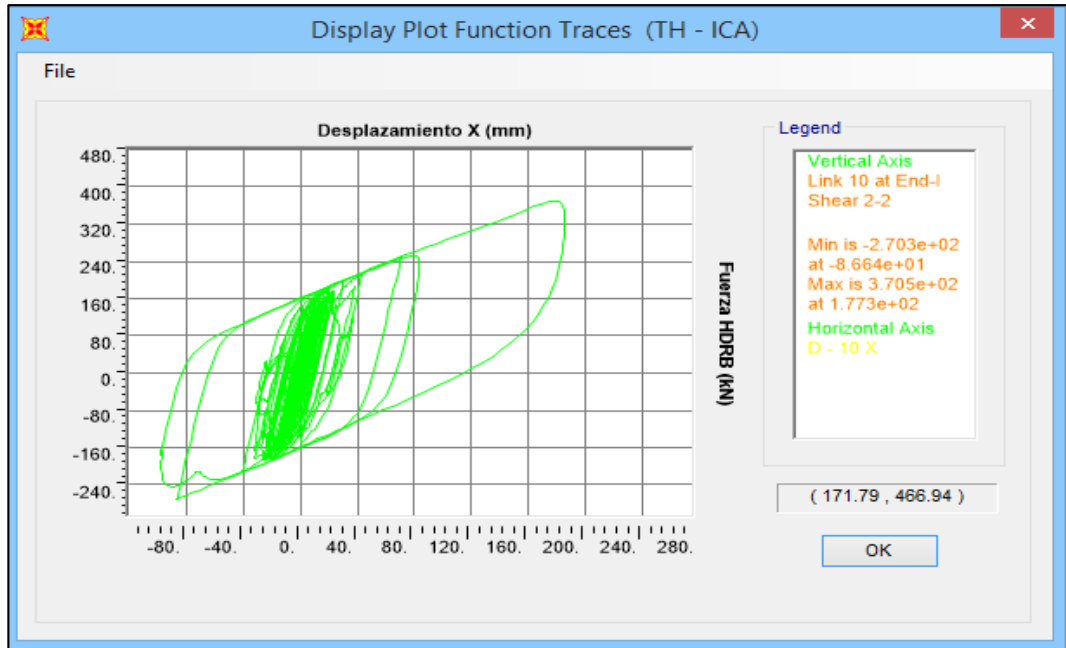
Fuente: Propia

Anexo N° 34 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 1” para Ica (2007)



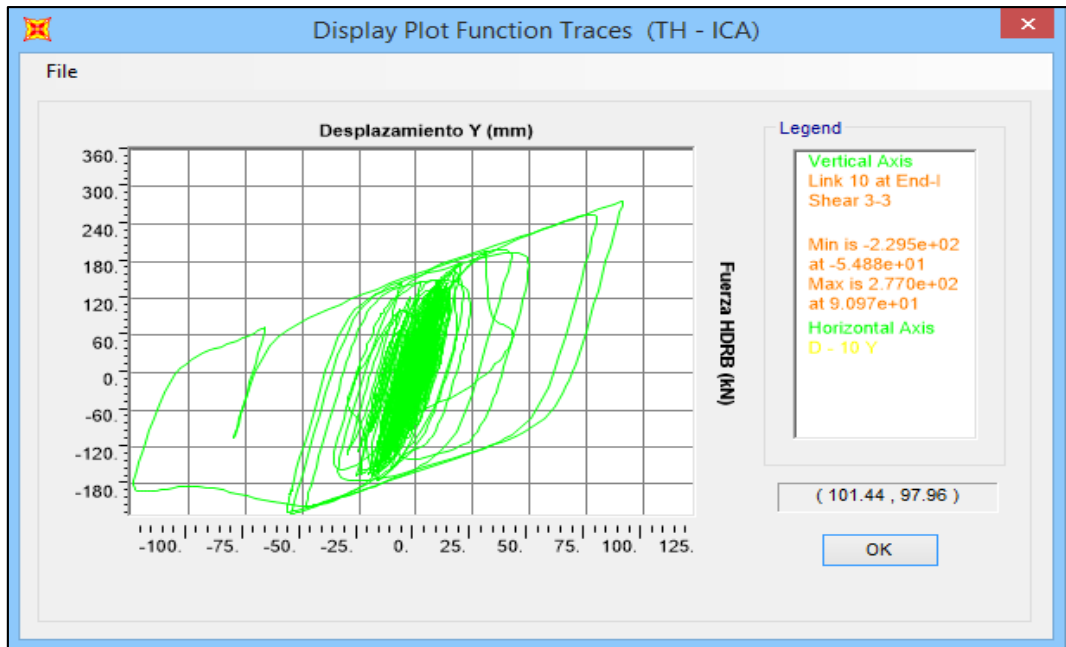
Fuente: Propia

Anexo N° 35 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “B – 1” para Ica (2007)



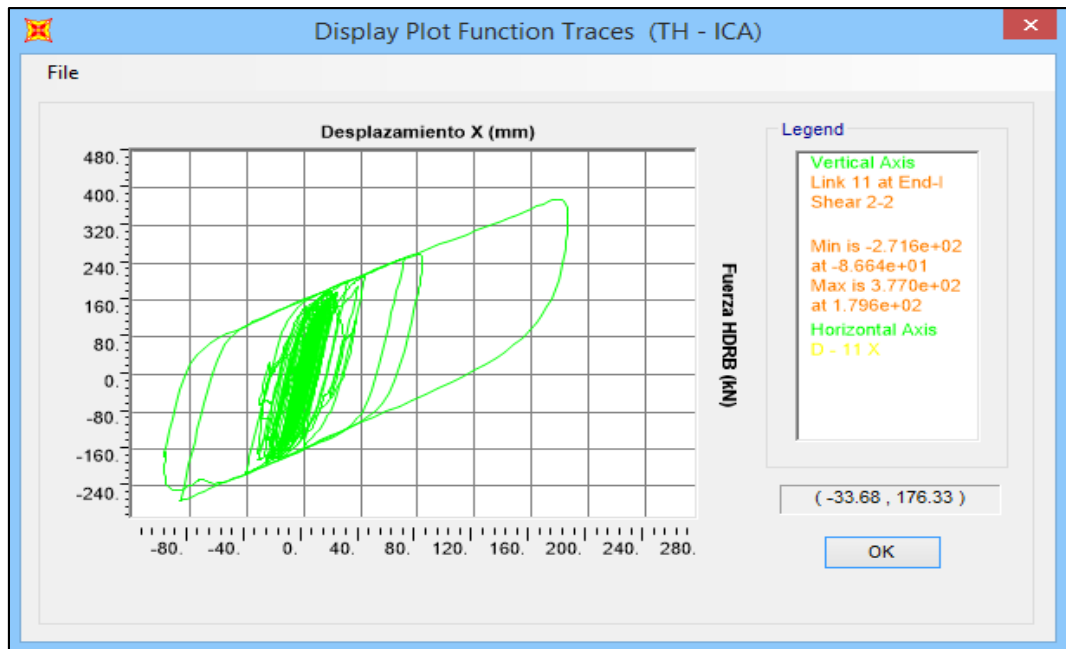
Fuente: Propia

Anexo N° 36 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “B – 1” para Ica (2007)



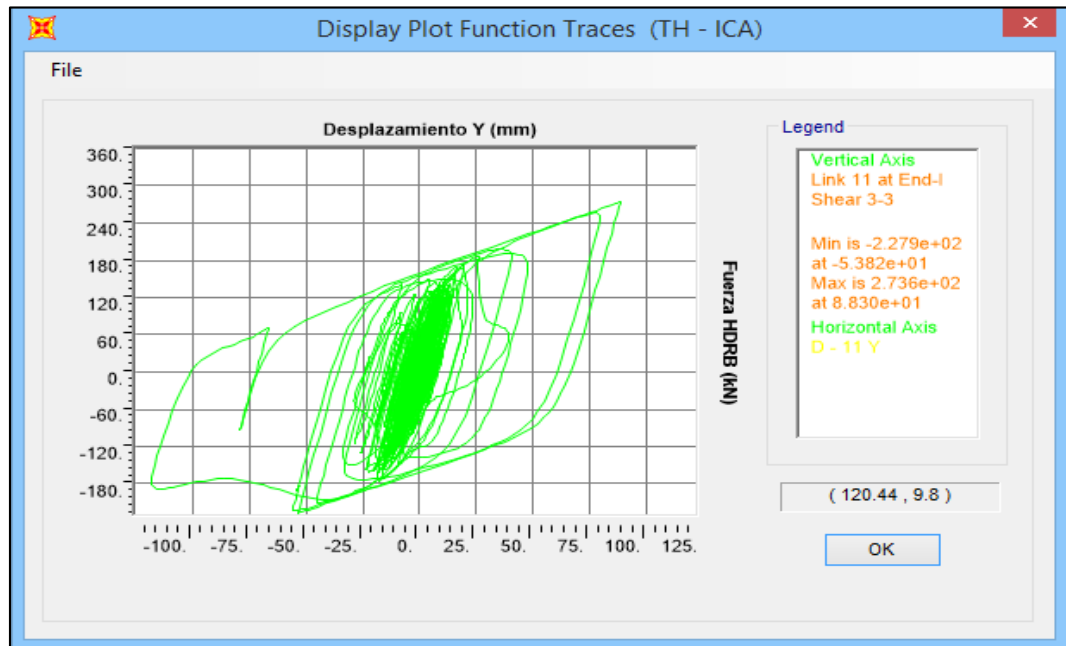
Fuente: Propia

Anexo N° 37 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 1” para Ica (2007)



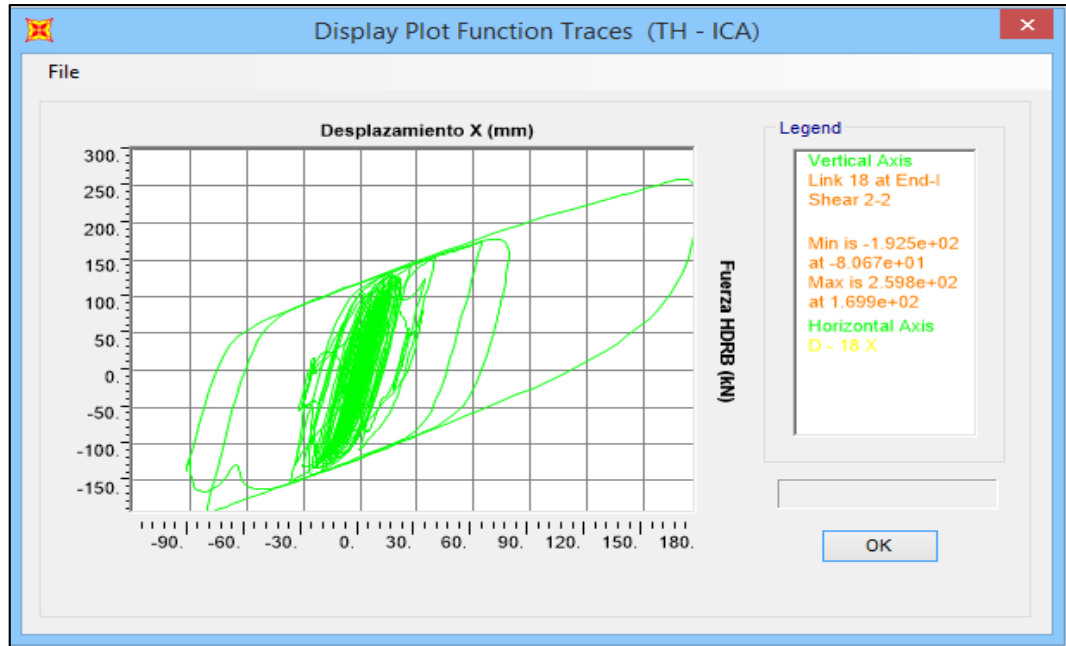
Fuente: Propia

Anexo N° 38 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 1” para Ica (2007)



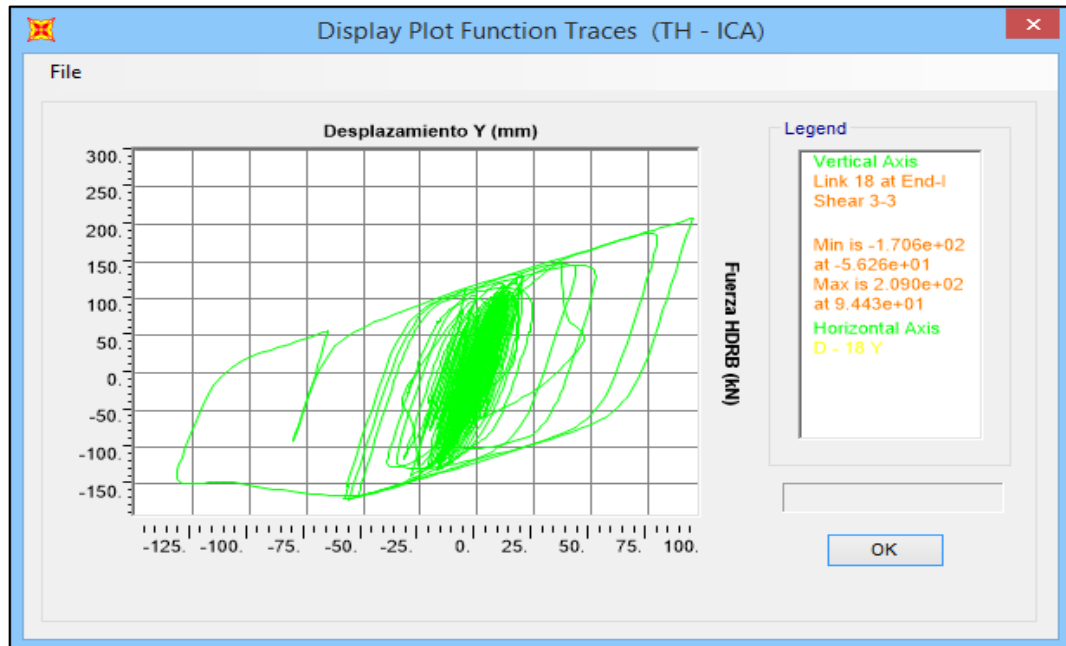
Fuente: Propia

Anexo N° 39 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “A – 2” para Ica (2007)



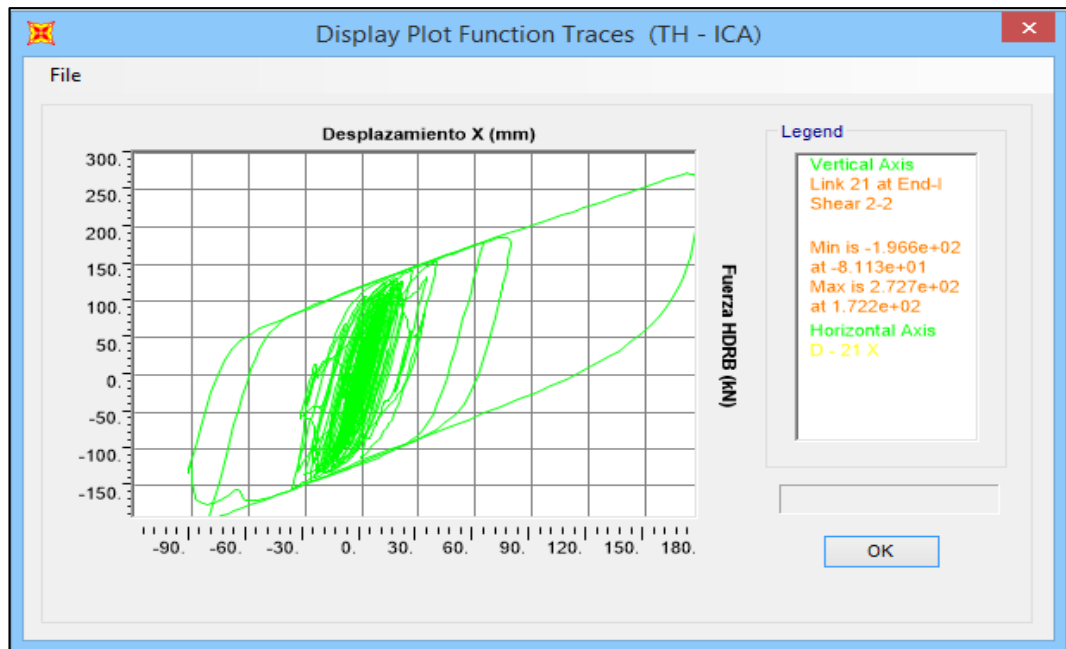
Fuente: Propia

Anexo N° 40 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “A – 2” para Ica (2007)



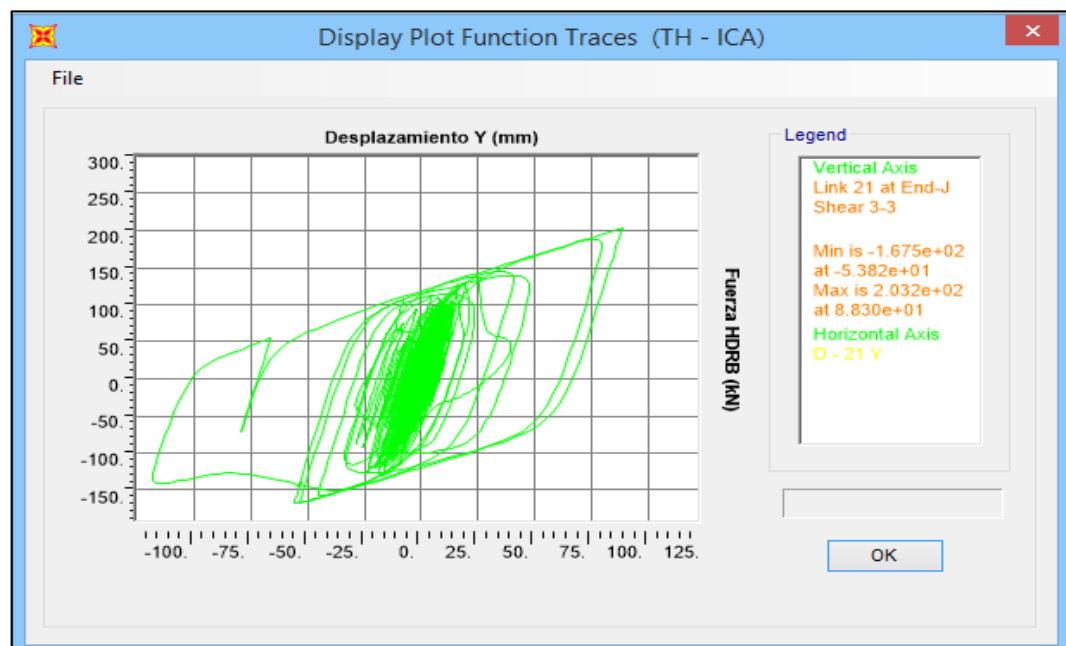
Fuente: Propia

Anexo N° 41 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “C – 2” para Ica (2007)



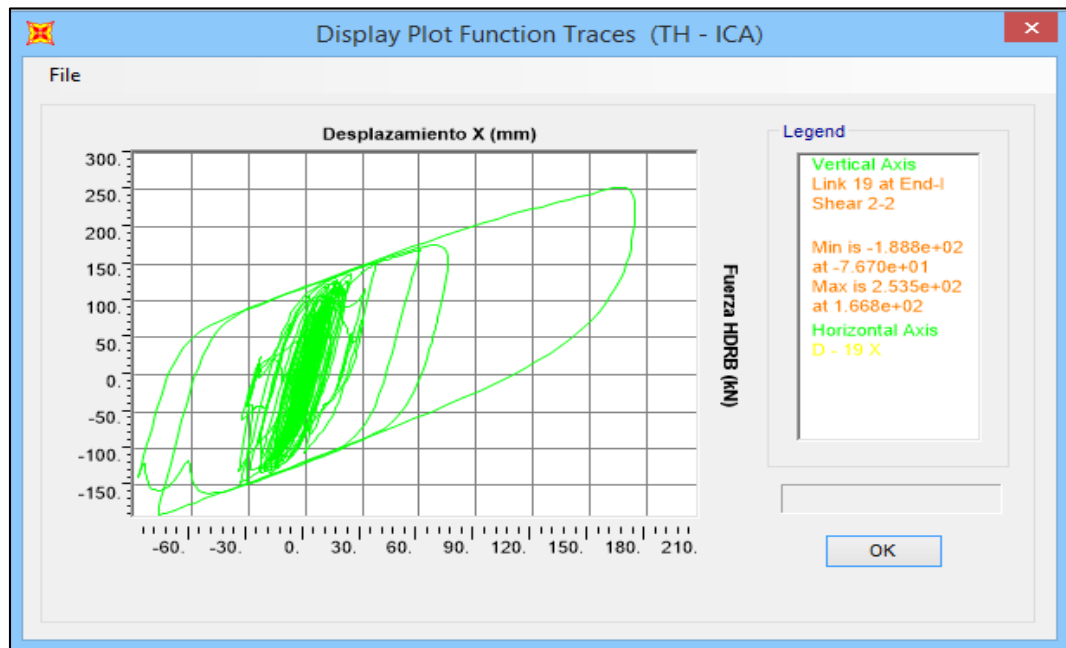
Fuente: Propia

Anexo N° 42 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “C– 2” para Ica (2007)



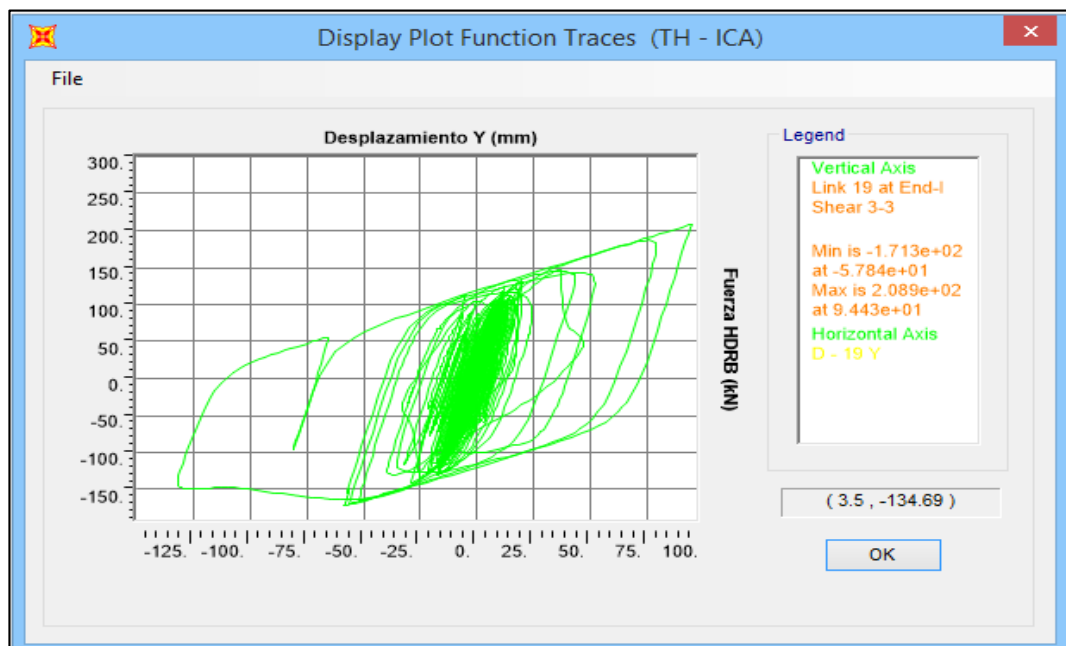
Fuente: Propia

Anexo N° 43 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “A – 3” para Ica (2007)



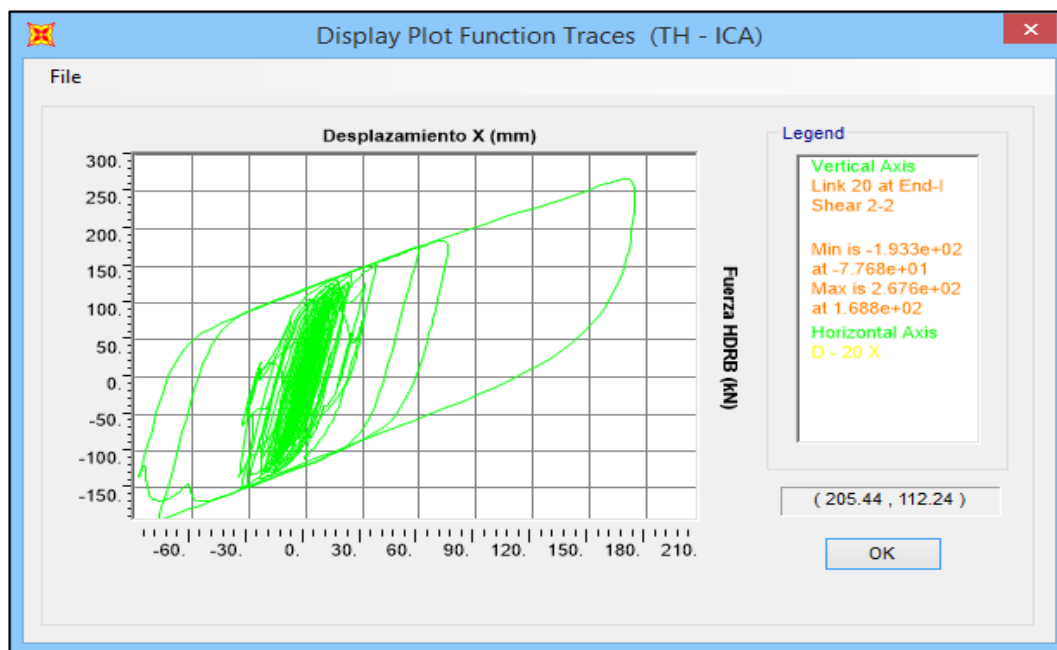
Fuente: Propia

Anexo N° 44 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “A – 3” para Ica (2007)



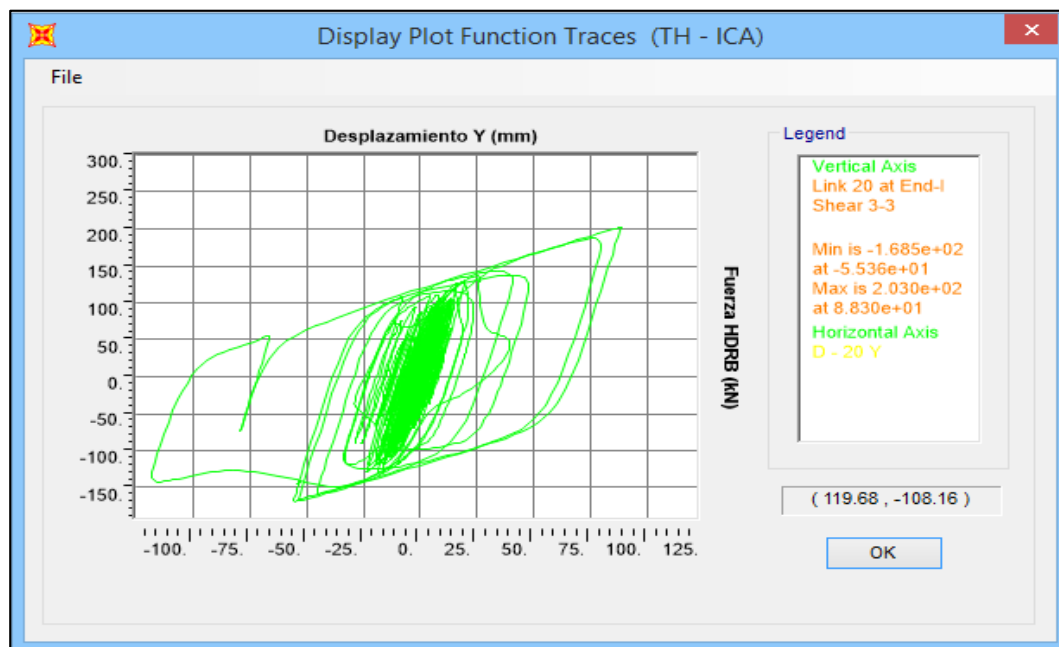
Fuente: Propia

Anexo N° 45 – Desplazamientos sentido X de HH060X3R en EJE “C – 3” para Ica (2007)



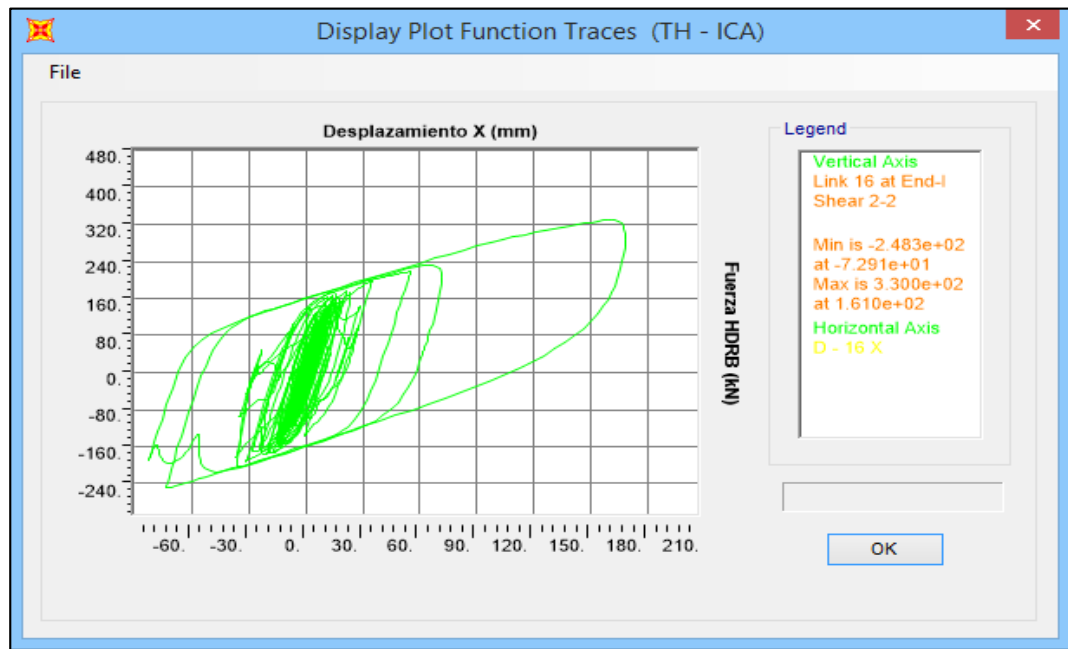
Fuente: Propia

Anexo N° 46 – Desplazamientos sentido Y de HH060X3R en EJE “C – 3” para Ica (2007)



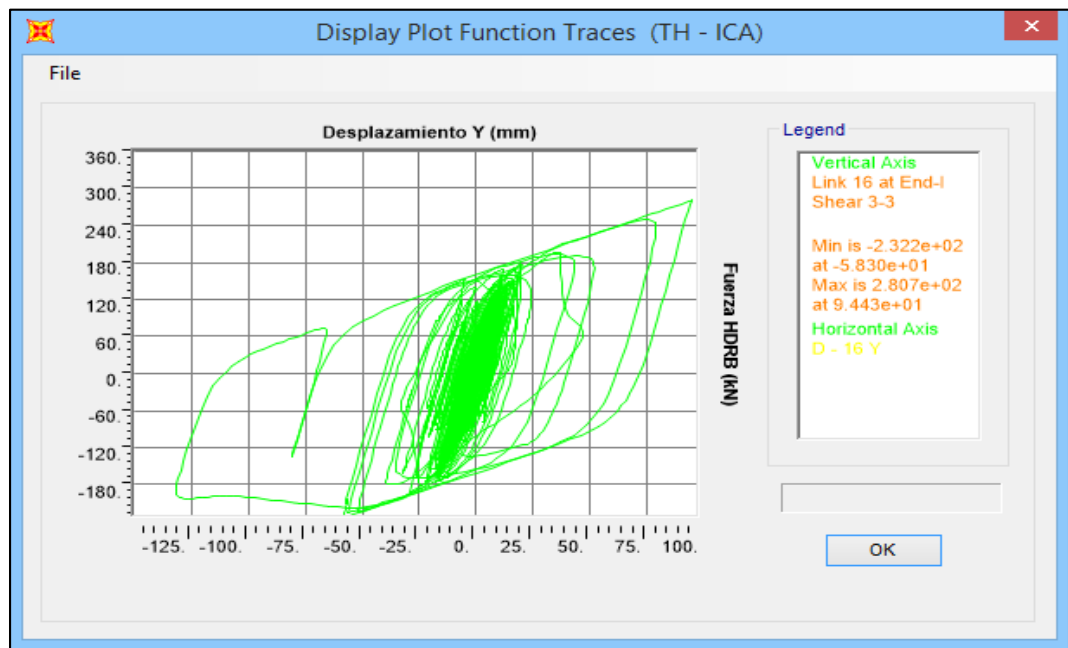
Fuente: Propia

Anexo N° 47 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 4” para Ica (2007)



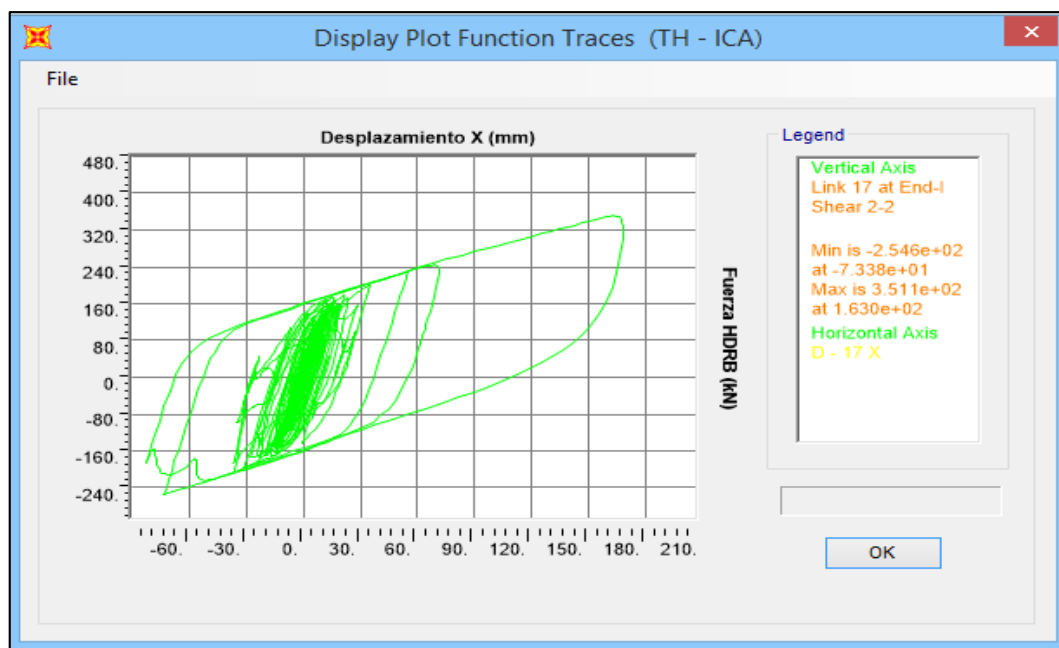
Fuente: Propia

Anexo N° 48 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 4” para Ica (2007)



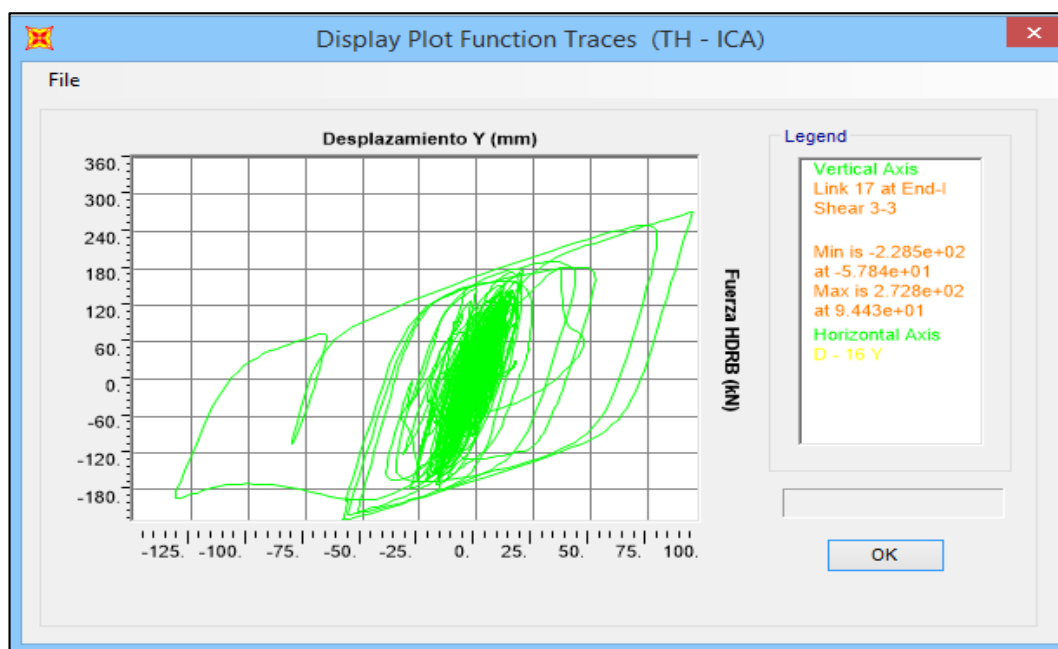
Fuente: Propia

Anexo N° 49 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 4” para Ica (2007)



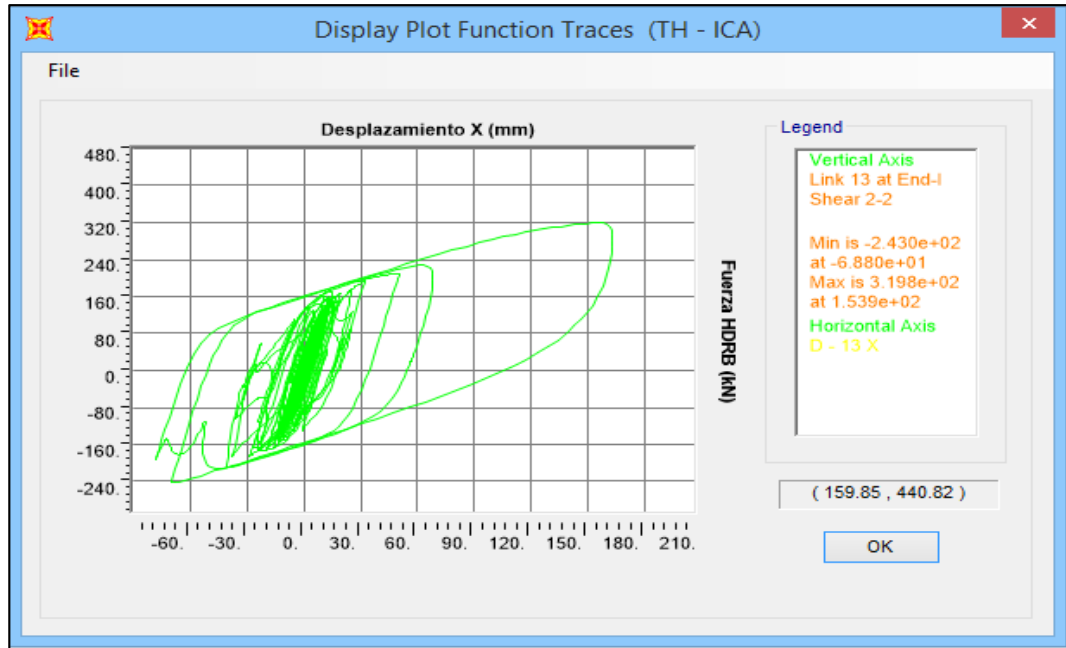
Fuente: Propia

Anexo N° 50 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 4” para Ica (2007)



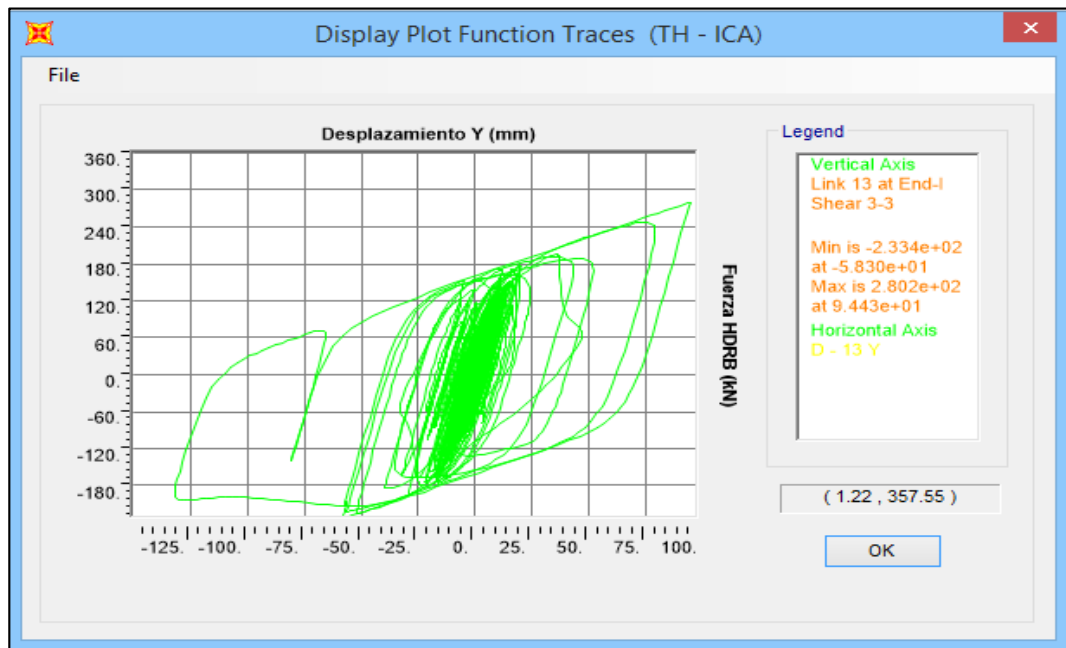
Fuente: Propia

Anexo N° 51 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 5” para Ica (2007)



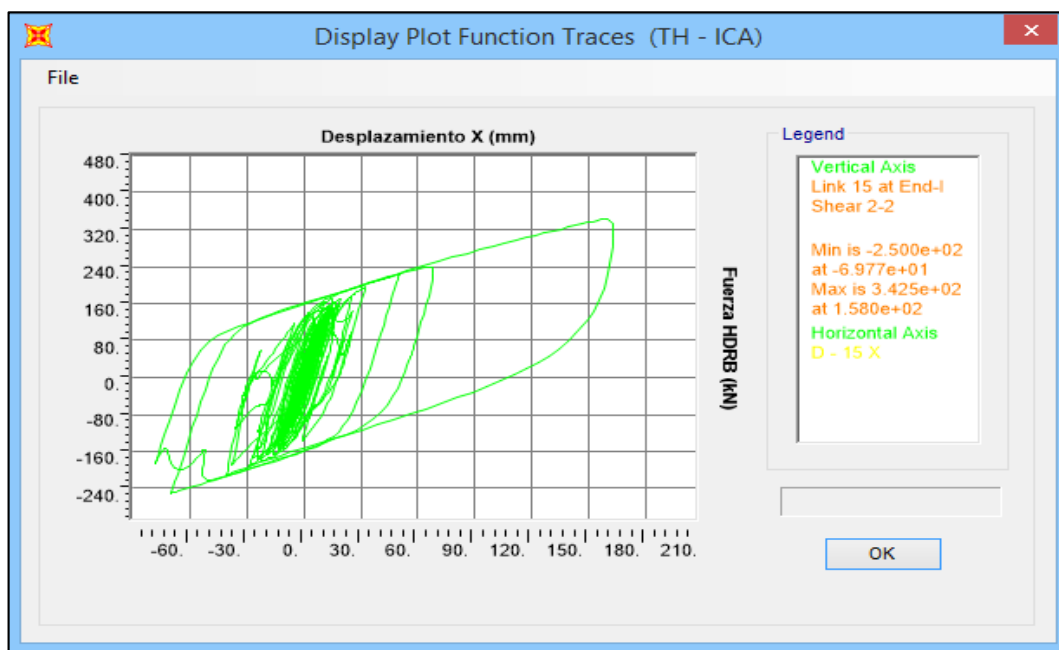
Fuente: Propia

Anexo N° 52 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 5” para Ica (2007)



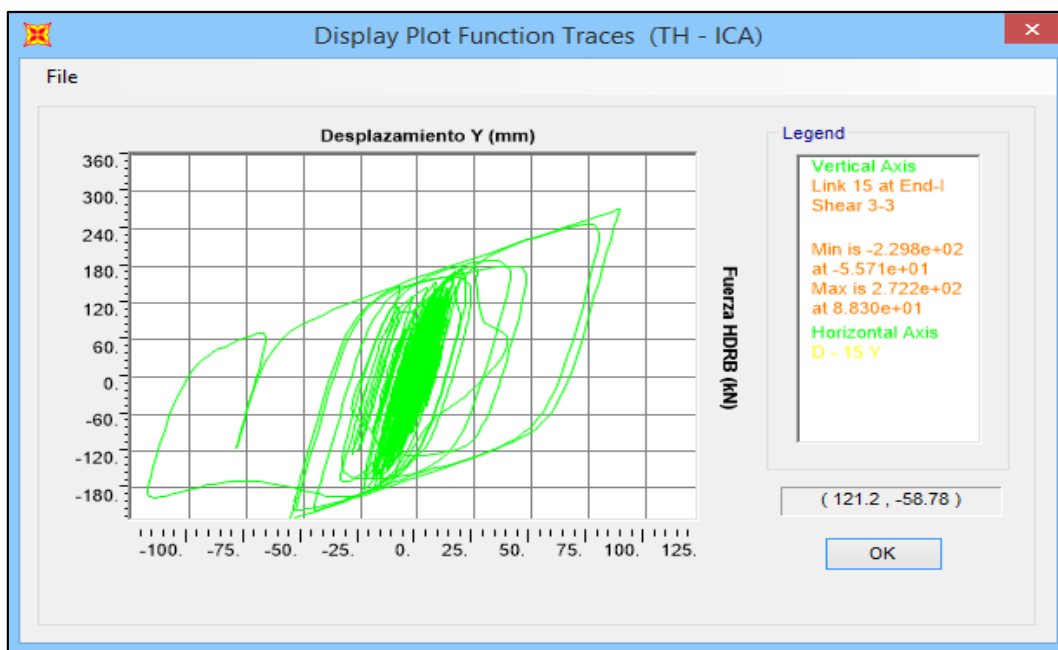
Fuente: Propia

Anexo N° 53 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 5” para Ica (2007)



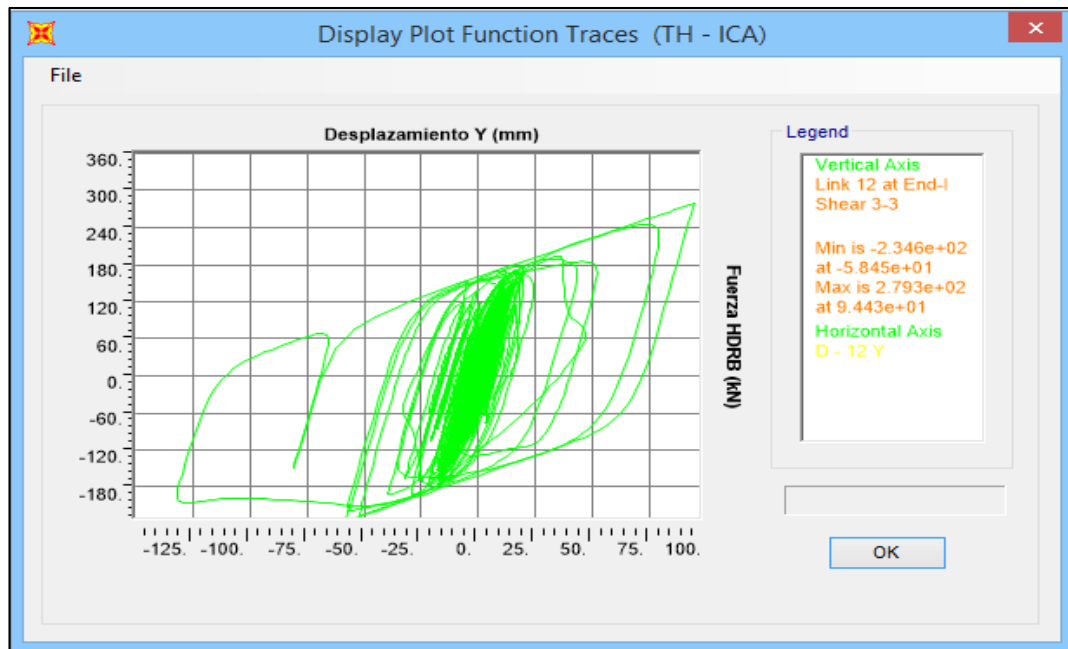
Fuente: Propia

Anexo N° 54 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 5” para Ica (2007)



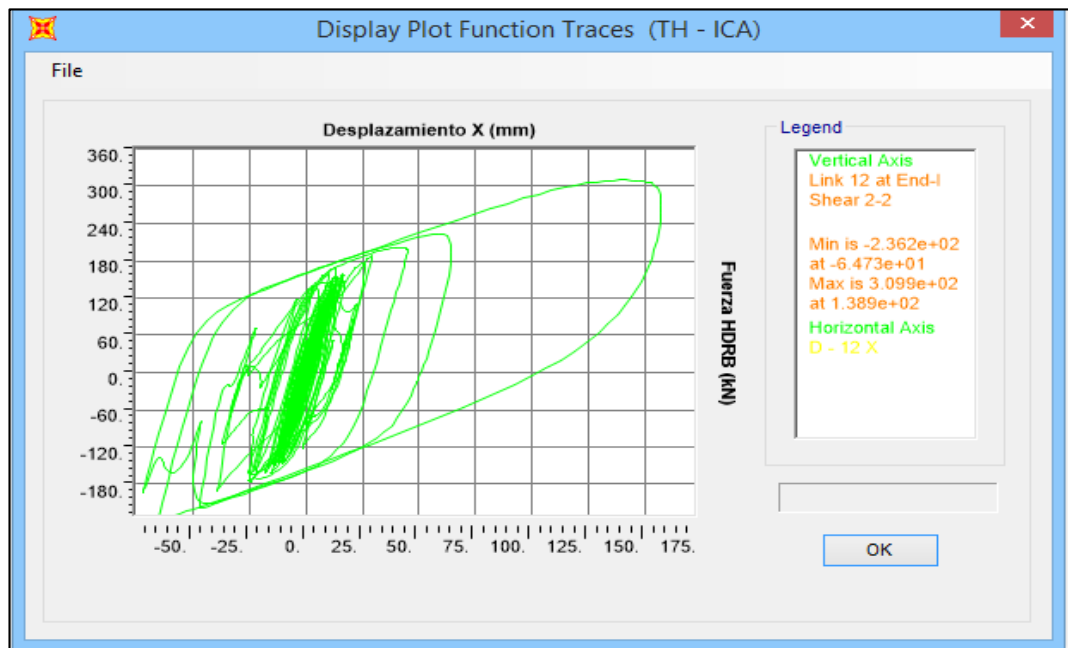
Fuente: Propia

Anexo N° 55 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 6” para Ica (2007)



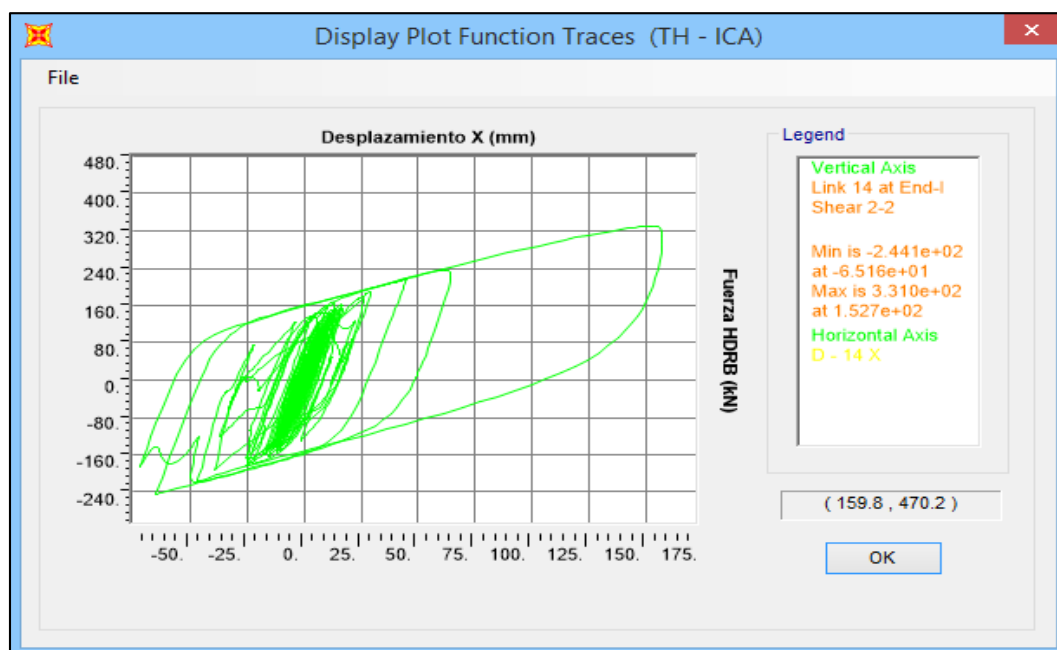
Fuente: Propia

Anexo N° 56 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 6” para Ica (2007)



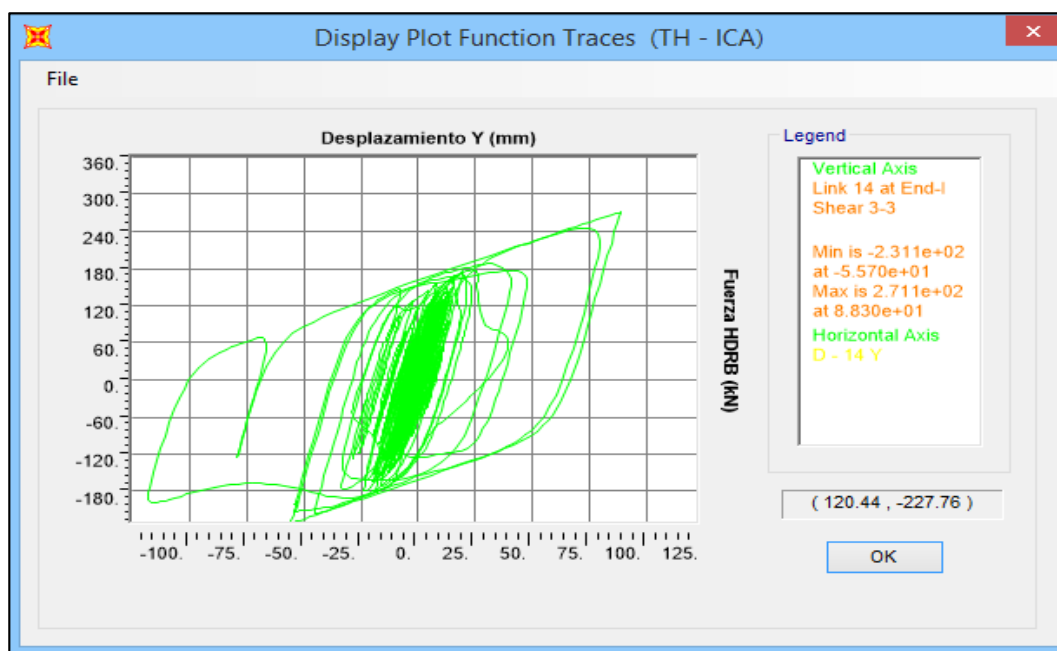
Fuente: Propia

Anexo N° 57 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 6” para Ica (2007)



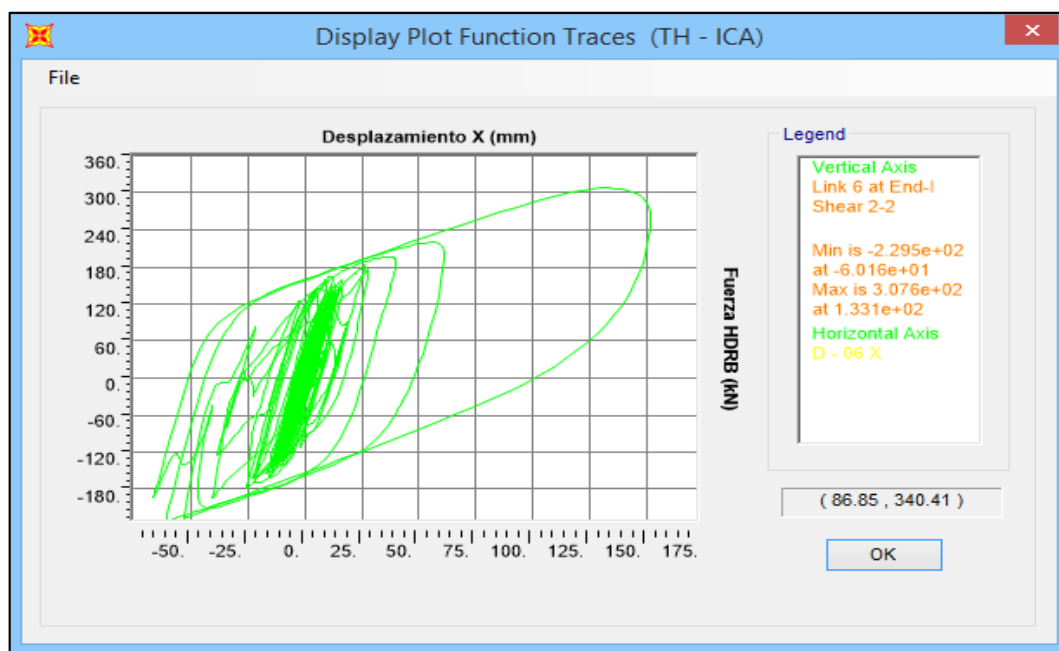
Fuente: Propia

Anexo N° 58 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 6” para Ica (2007)



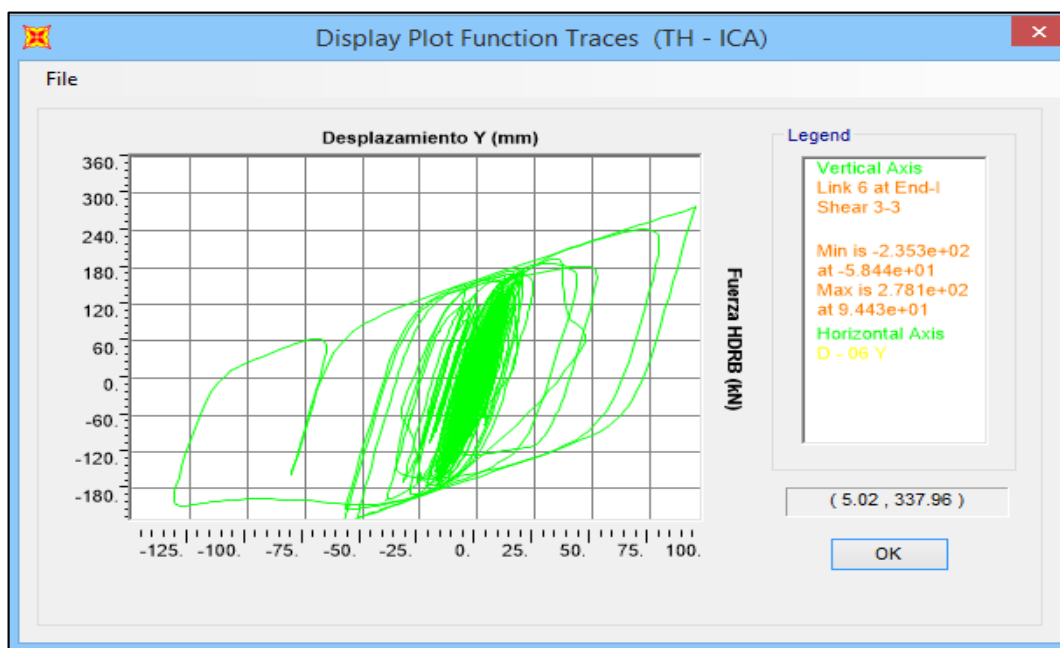
Fuente: Propia

Anexo N° 59 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “A – 7” para Ica (2007)



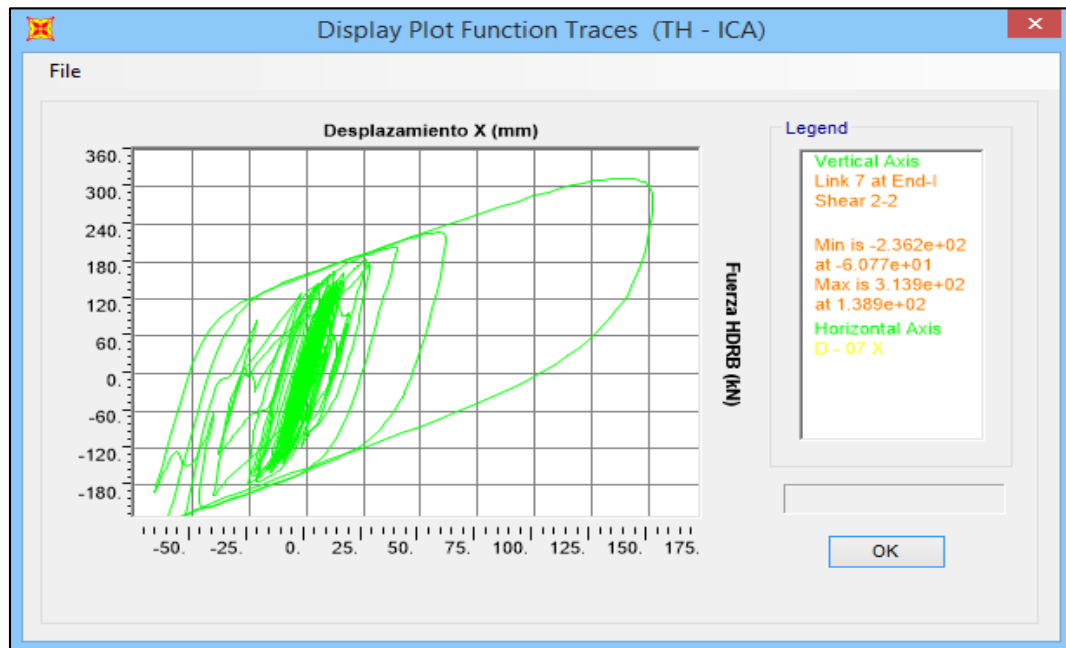
Fuente: Propia

Anexo N° 60 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 7” para Ica (2007)



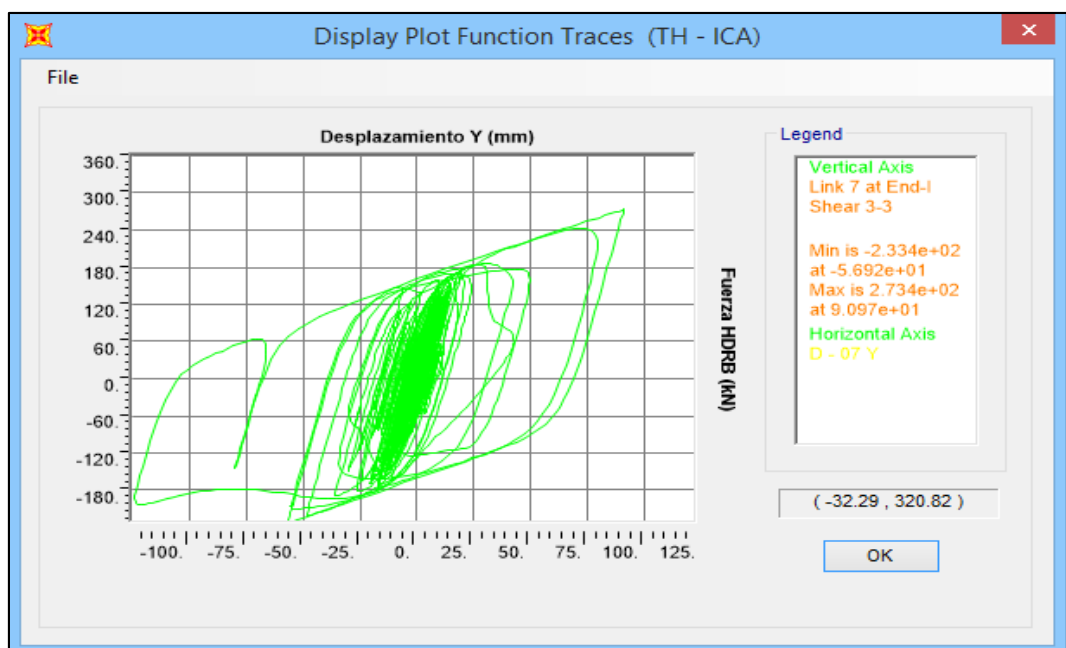
Fuente: Propia

Anexo N° 61 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “B – 7” para Ica (2007)



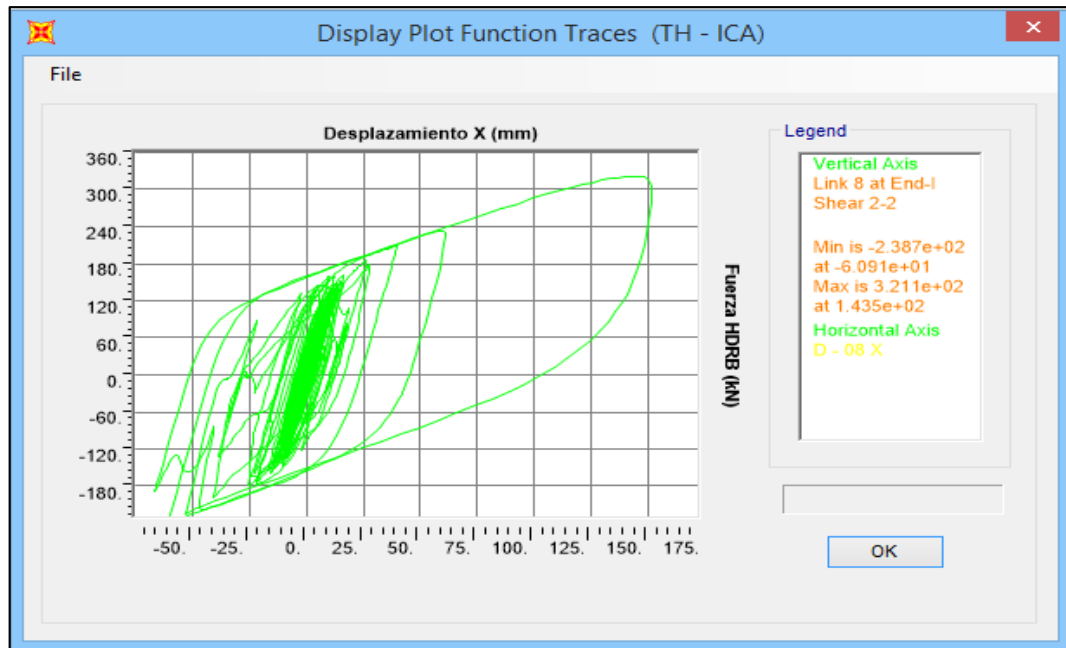
Fuente: Propia

Anexo N° 62 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “B – 7” para Ica (2007)



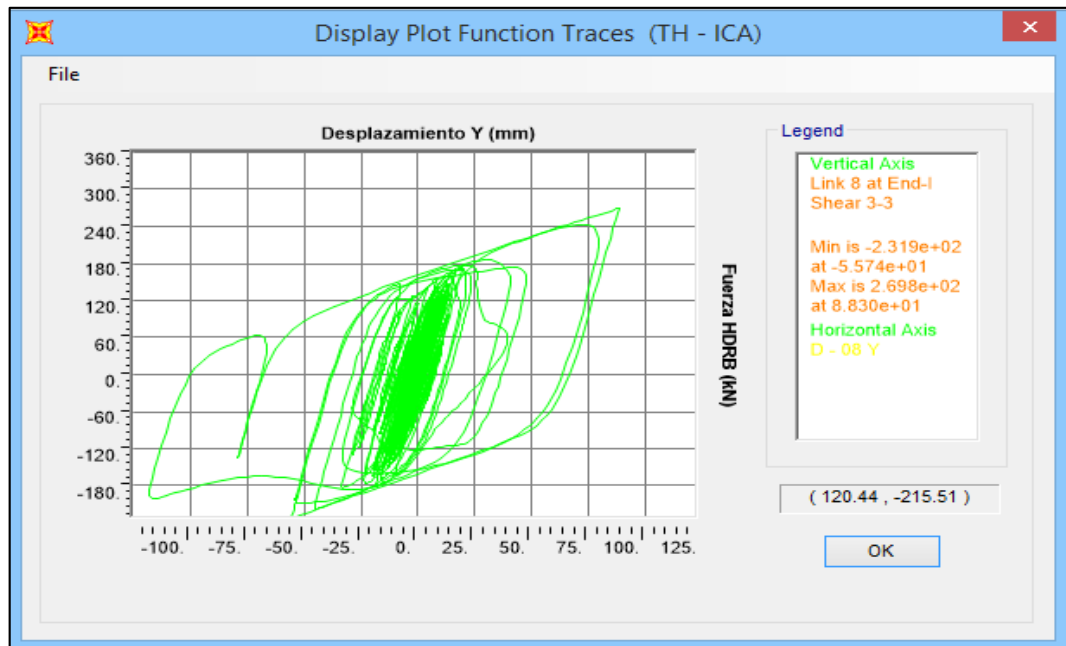
Fuente: Propia

Anexo N° 63 – Desplazamientos sentido X de HH070X4S en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

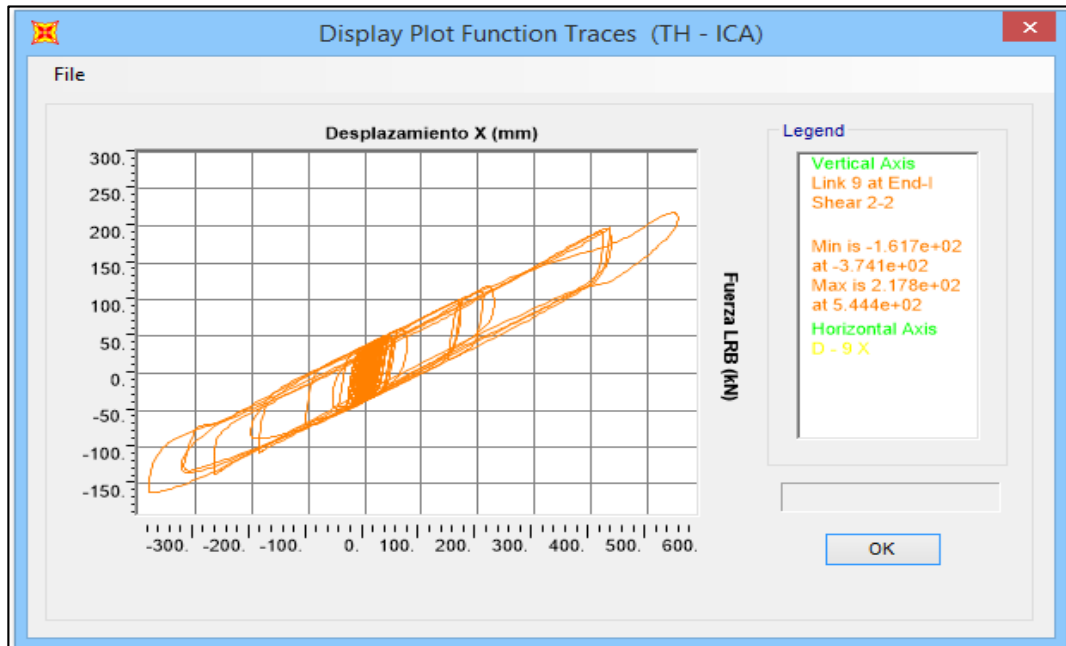
Anexo N° 64 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

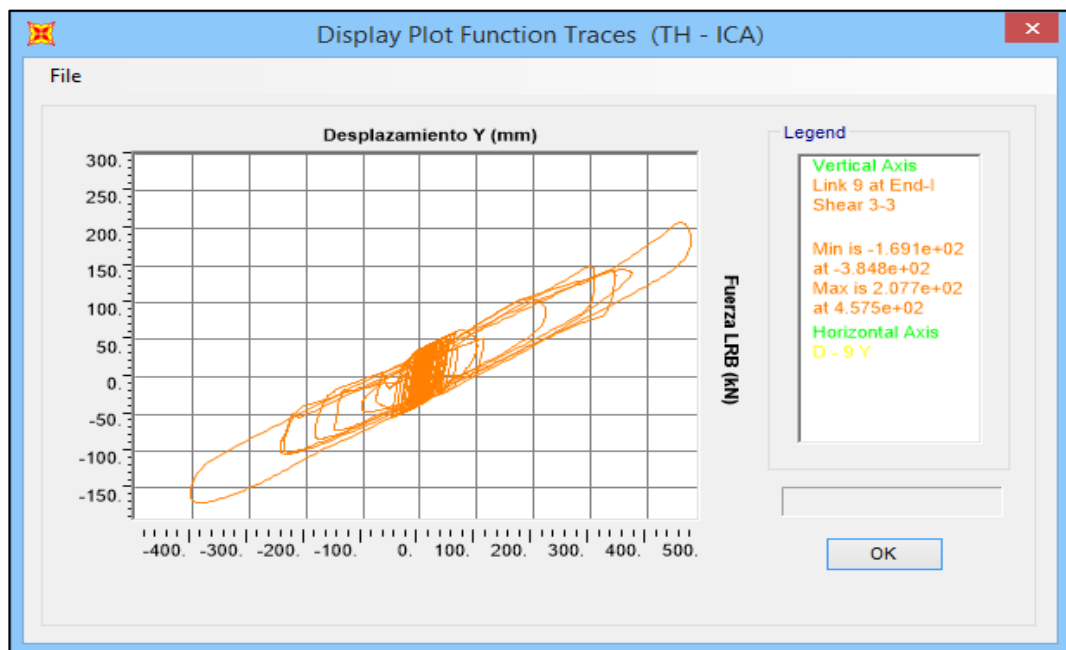
Comportamiento Histerético LRB en Límite Inferior

Anexo N° 65 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 1” para Ica (2007)



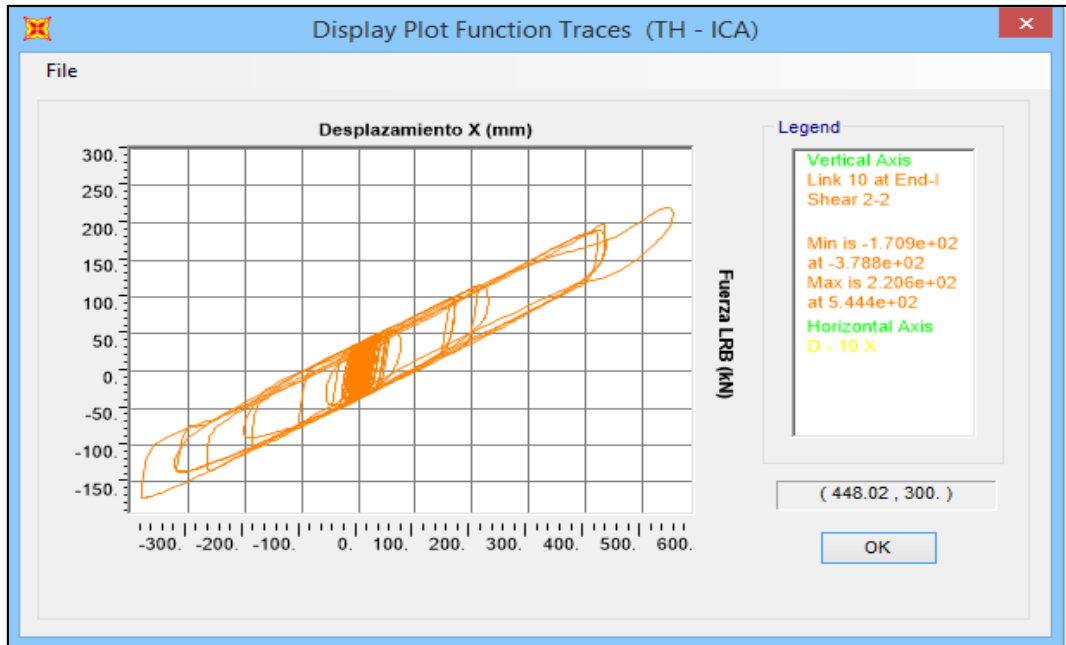
Fuente: Propia

Anexo N° 66 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 1” para Ica (2007)



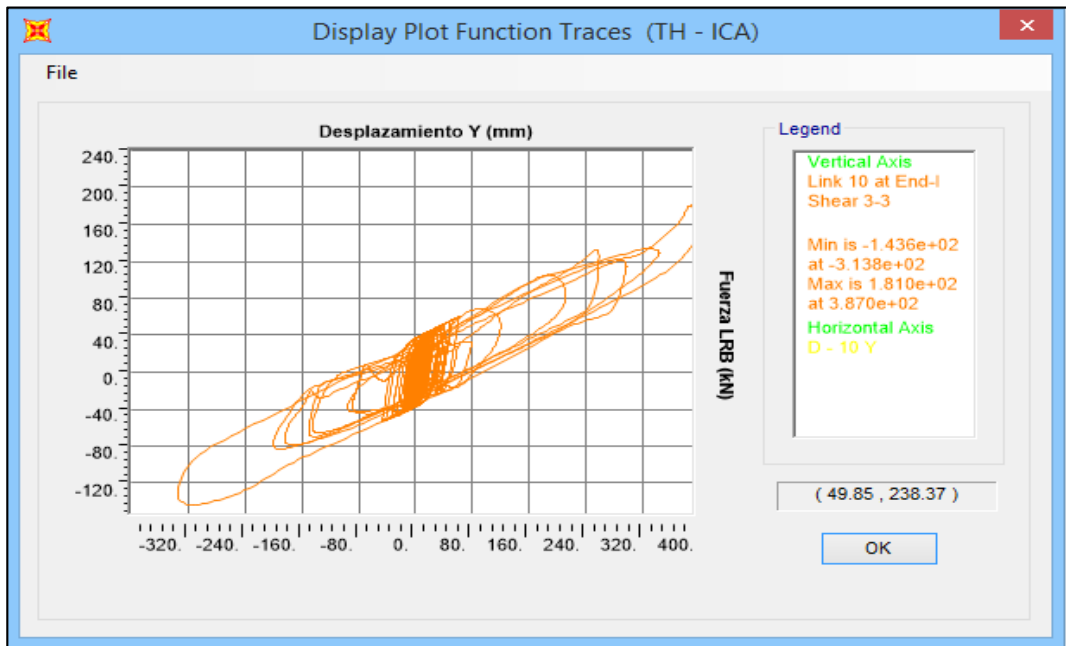
Fuente: Propia

Anexo N° 67 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “B – 1” para Ica (2007)



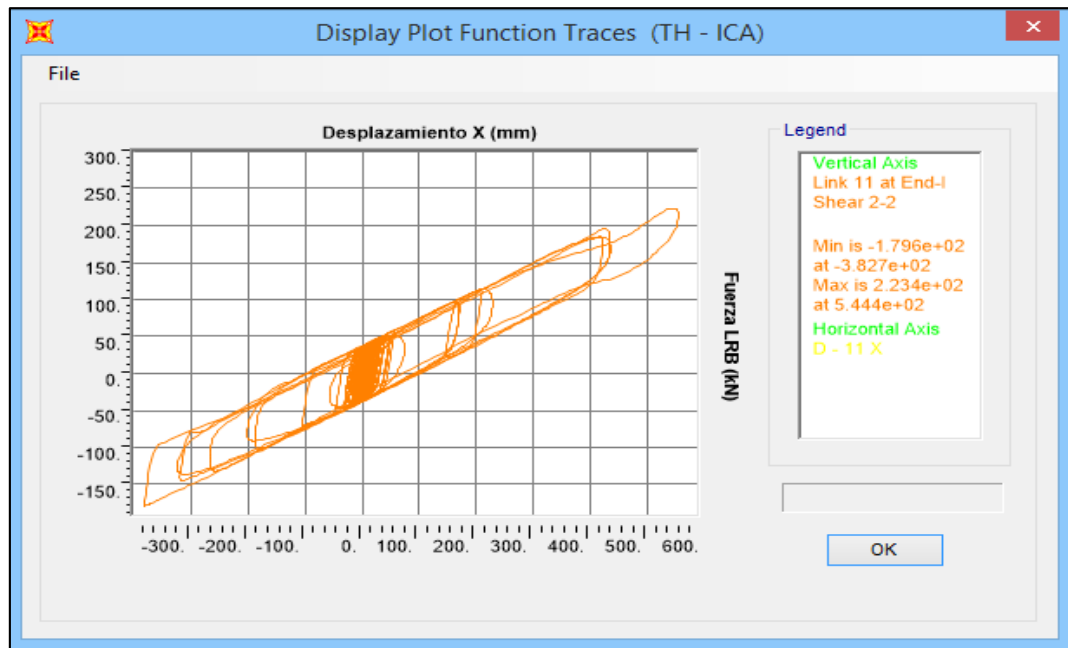
Fuente: Propia

Anexo N° 68 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “B – 1” para Ica (2007)



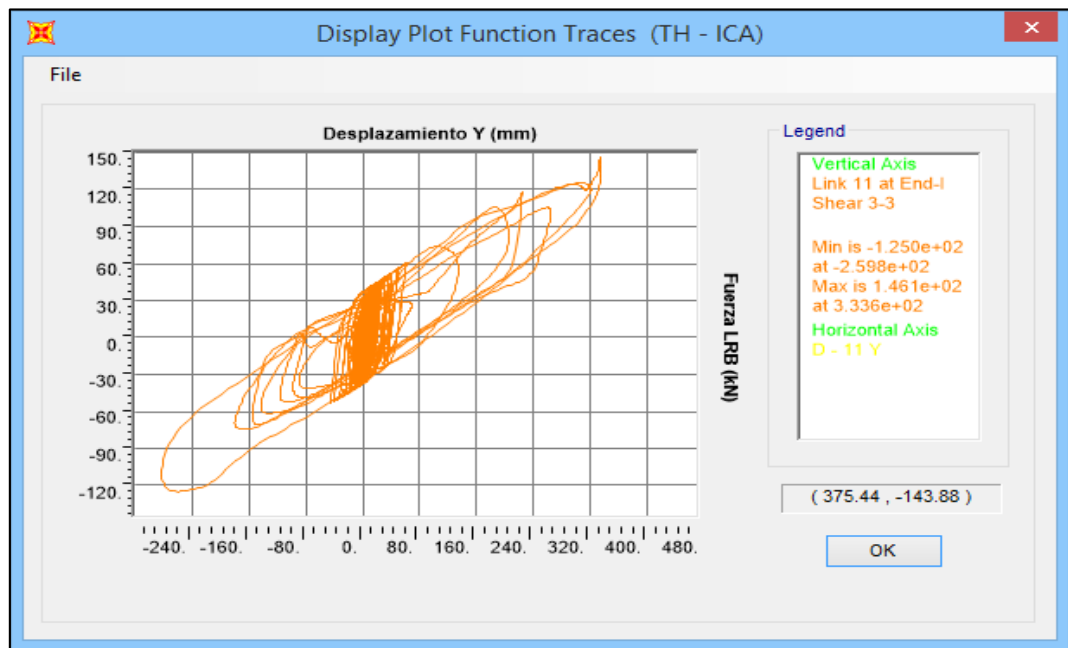
Fuente: Propia

Anexo N° 69 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 1” para Ica (2007)



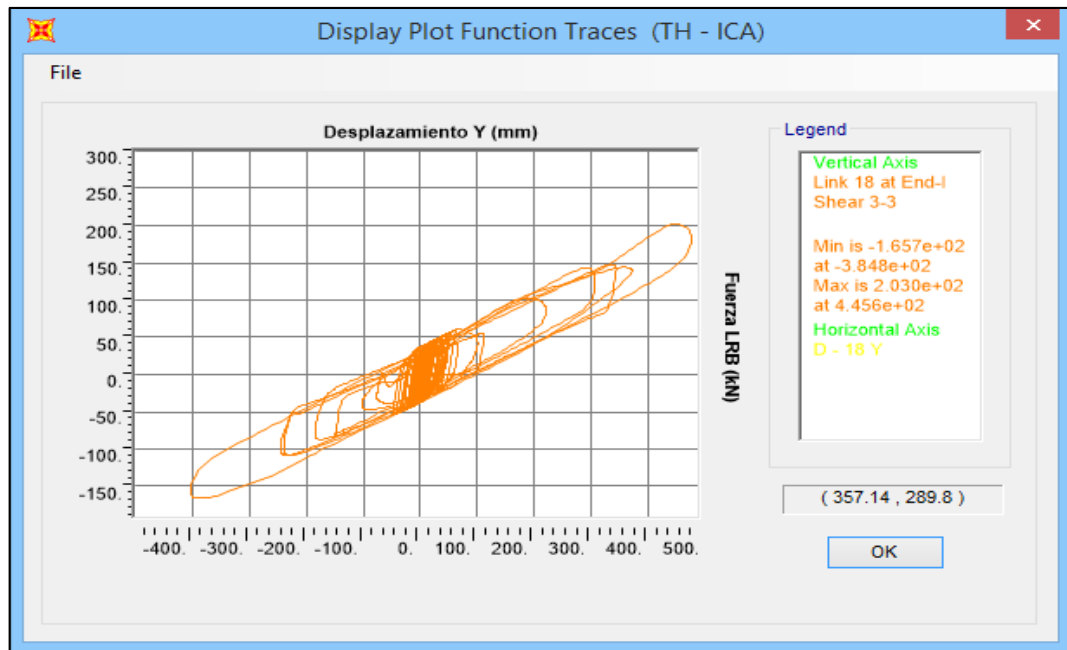
Fuente: Propia

Anexo N° 70 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 1” para Ica (2007)



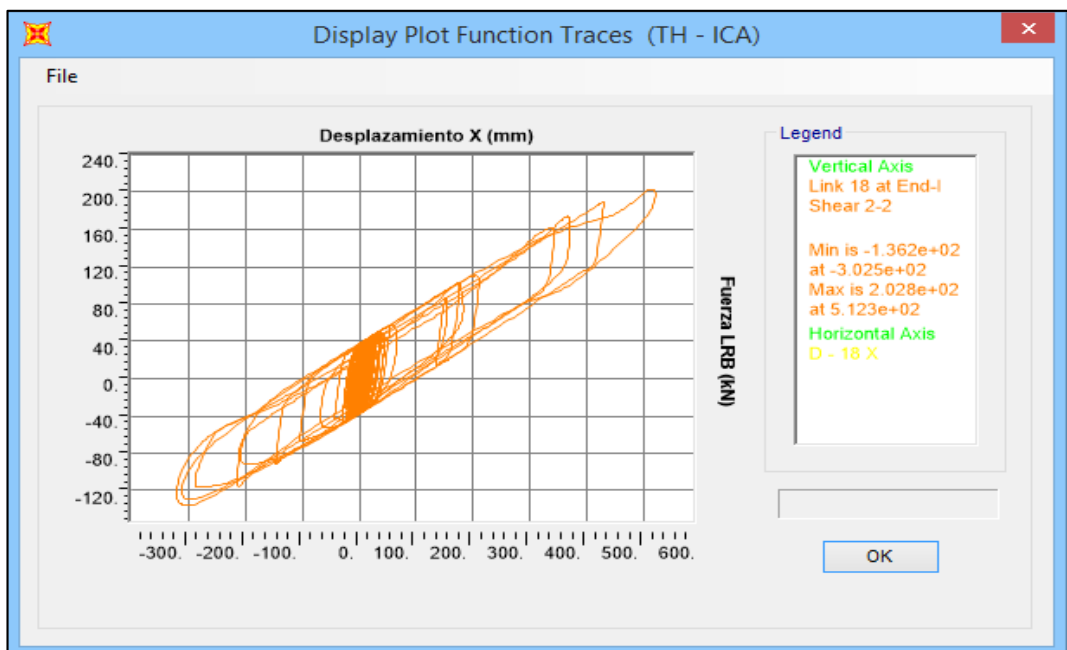
Fuente: Propia

Anexo N° 71 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 2” para Ica (2007)



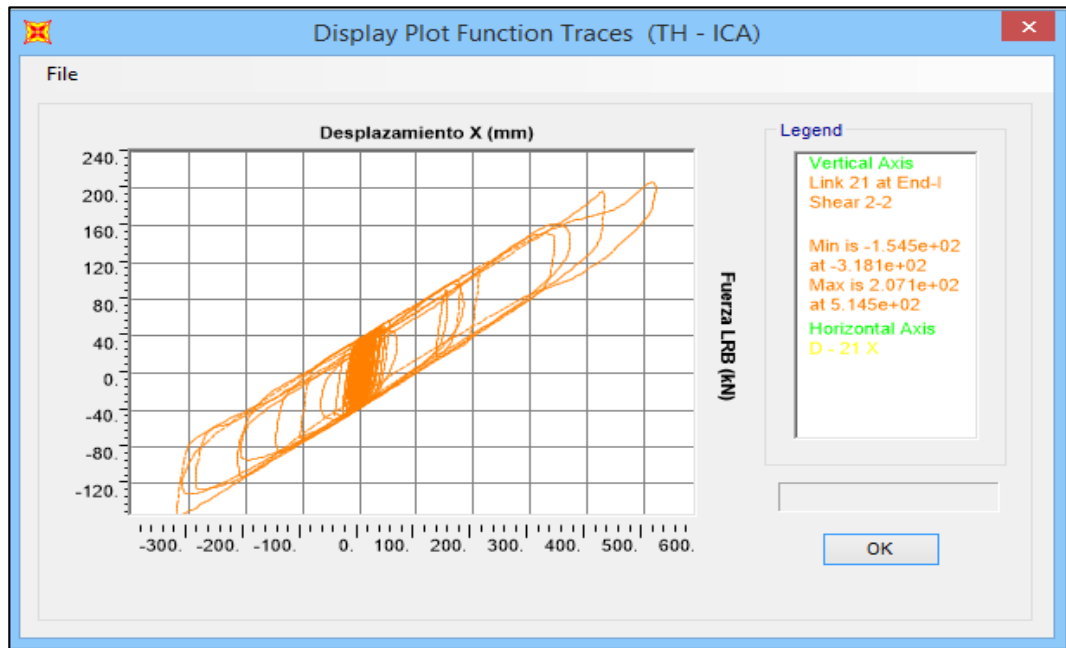
Fuente: Propia

Anexo N° 72 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 2” para Ica (2007)



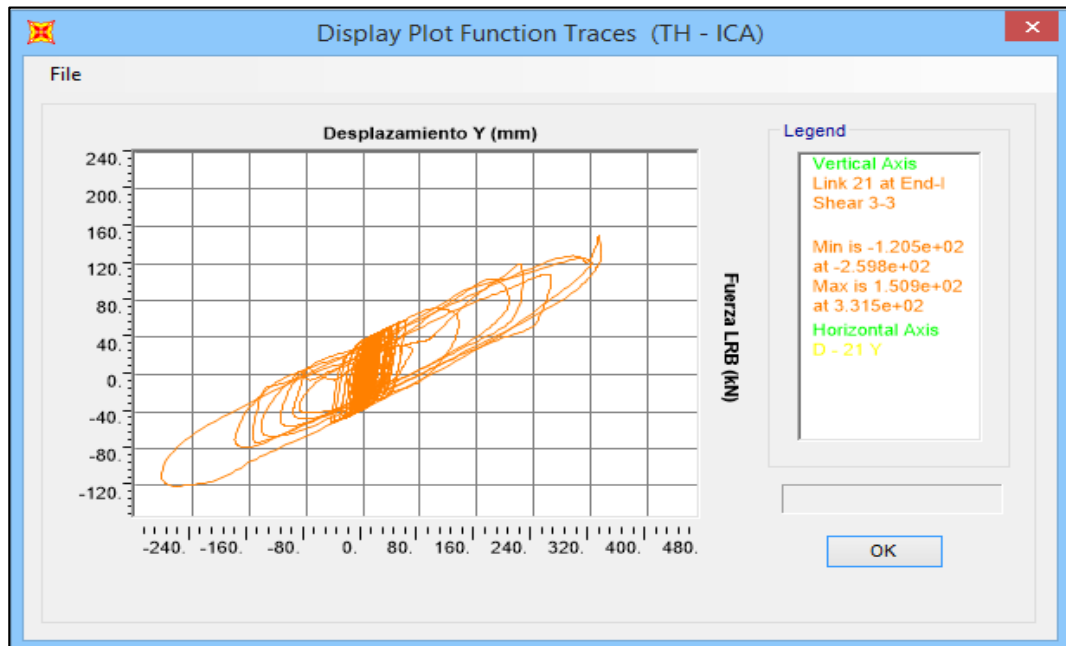
Fuente: Propia

Anexo N° 73 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 2” para Ica (2007)



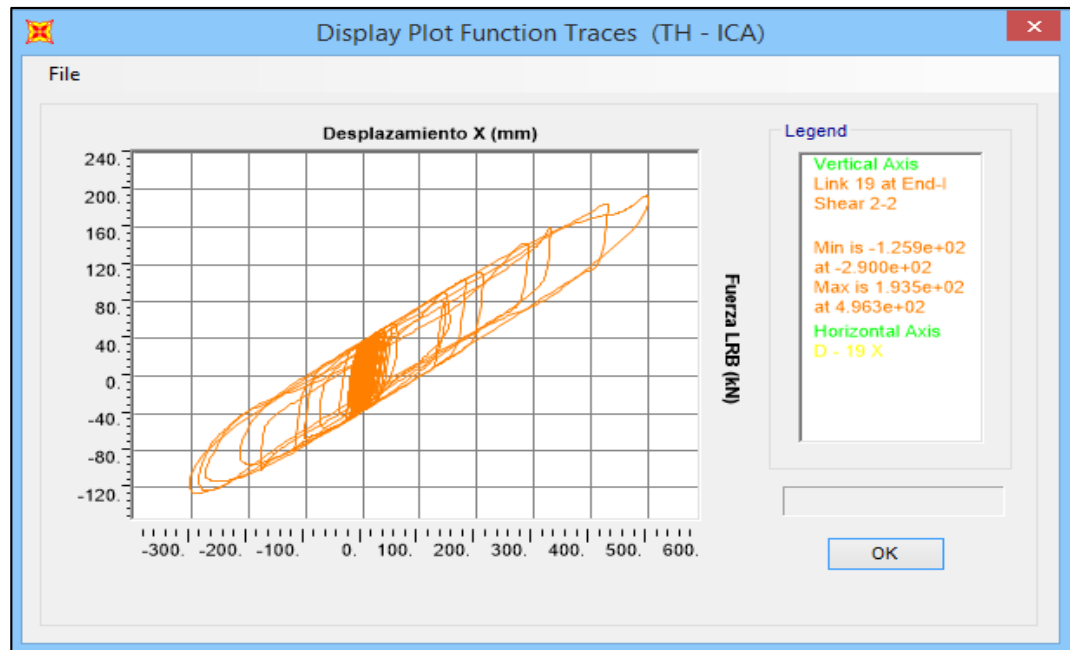
Fuente: Propia

Anexo N° 74 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “C – 2” para Ica (2007)



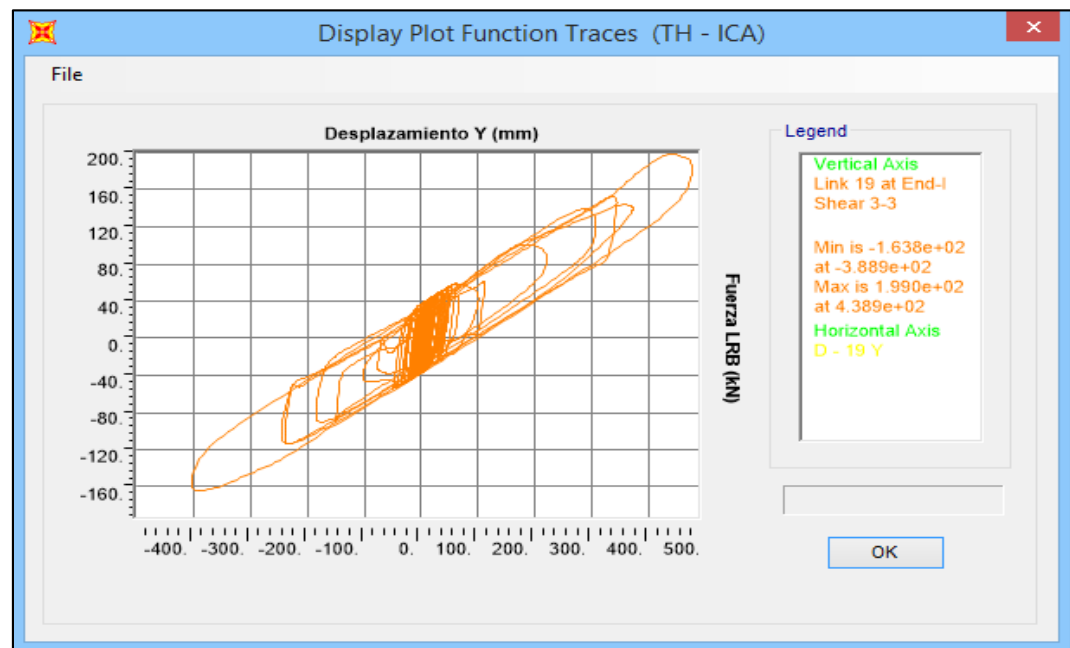
Fuente: Propia

Anexo N° 75 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 3” para Ica (2007)



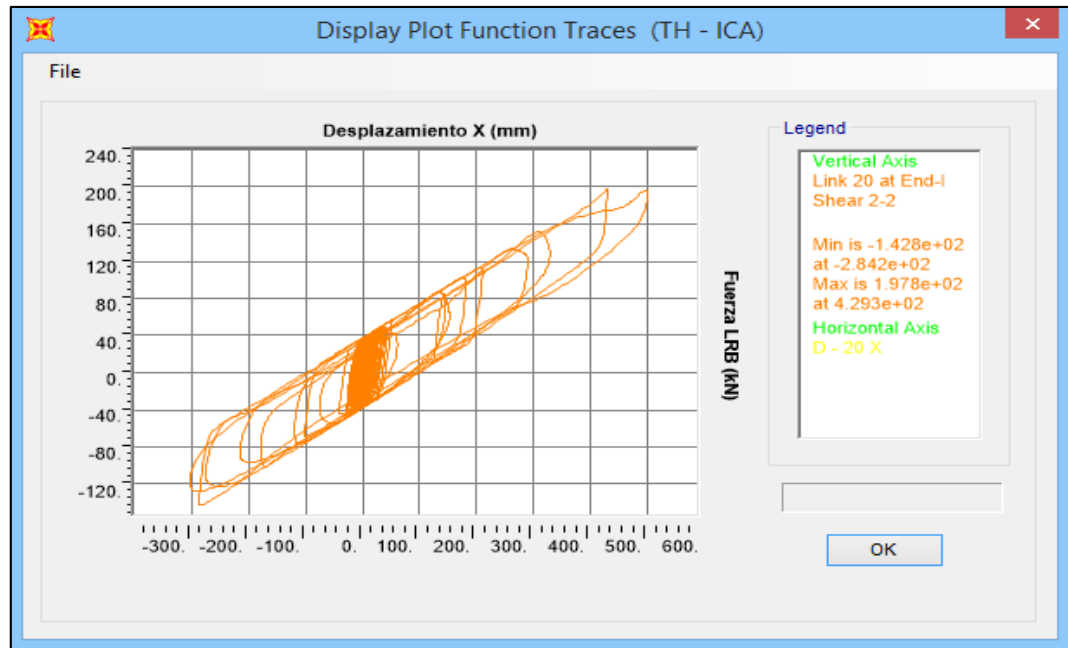
Fuente: Propia

Anexo N° 76 – Desplazamientos sentido Y de HH070X4S en EJE “A – 3” para Ica (2007)



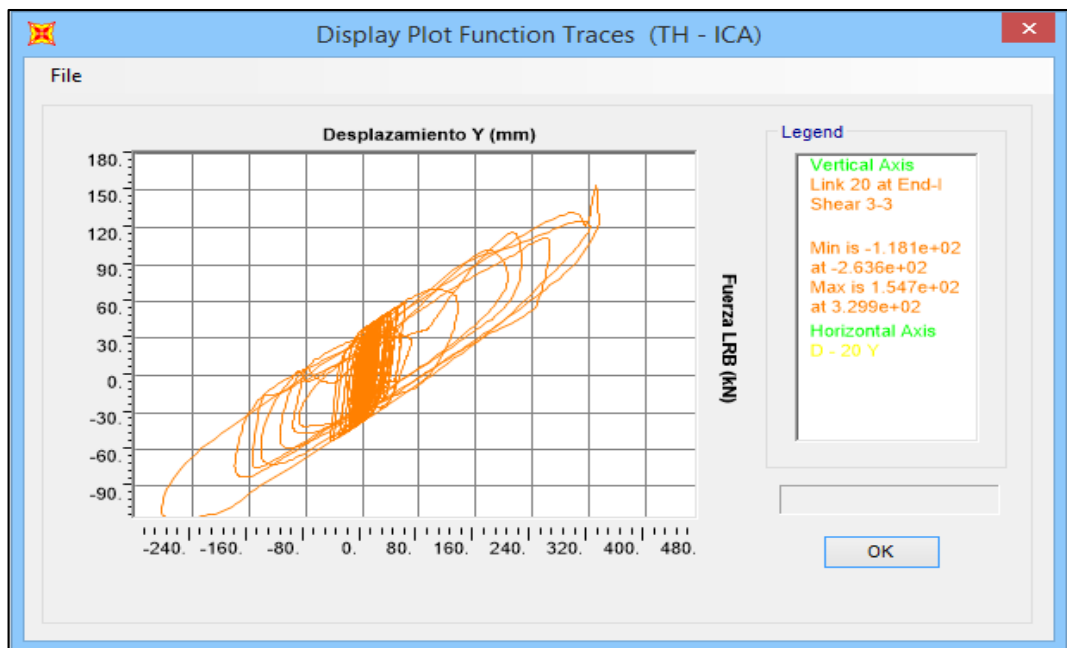
Fuente: Propia

Anexo N° 77 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 3” para Ica (2007)



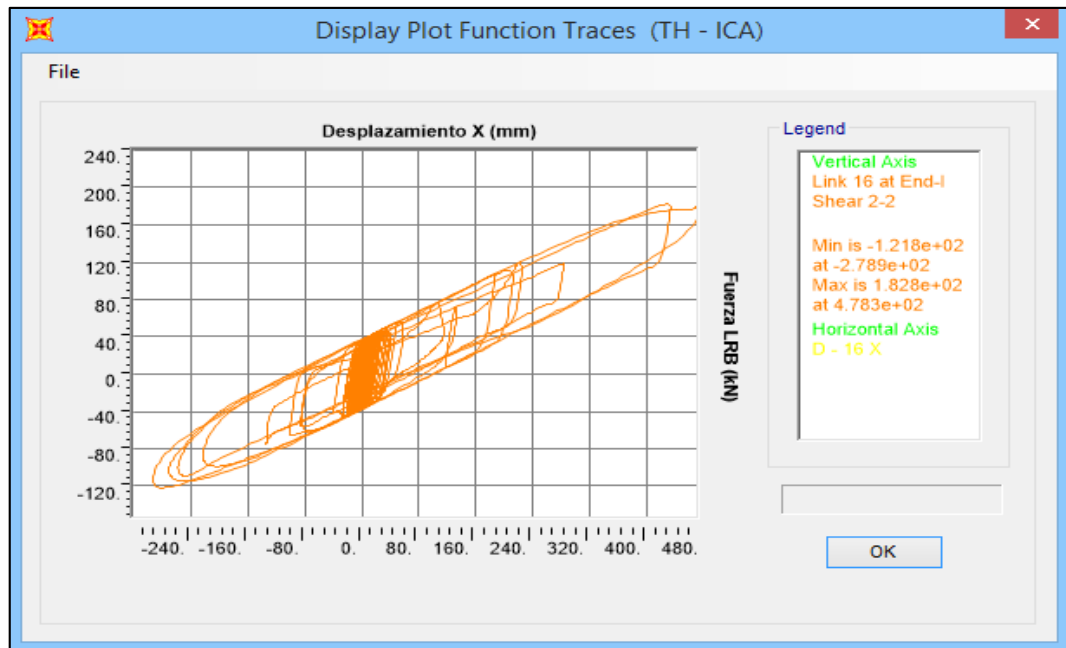
Fuente: Propia

Anexo N° 78 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 3” para Ica (2007)



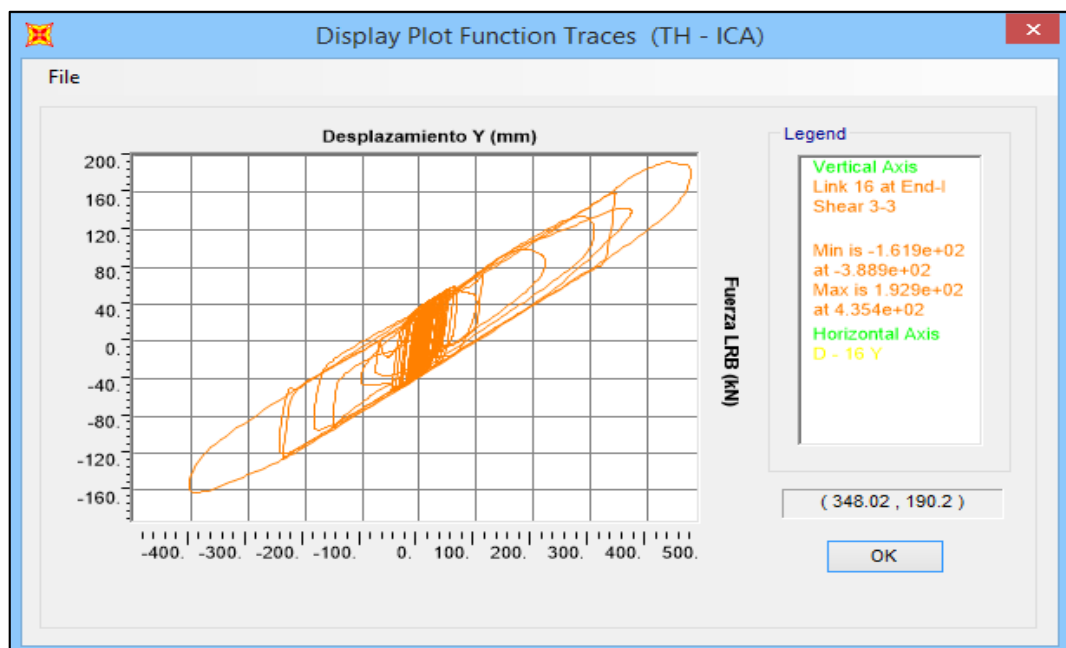
Fuente: Propia

Anexo N° 79 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 4” para Ica (2007)



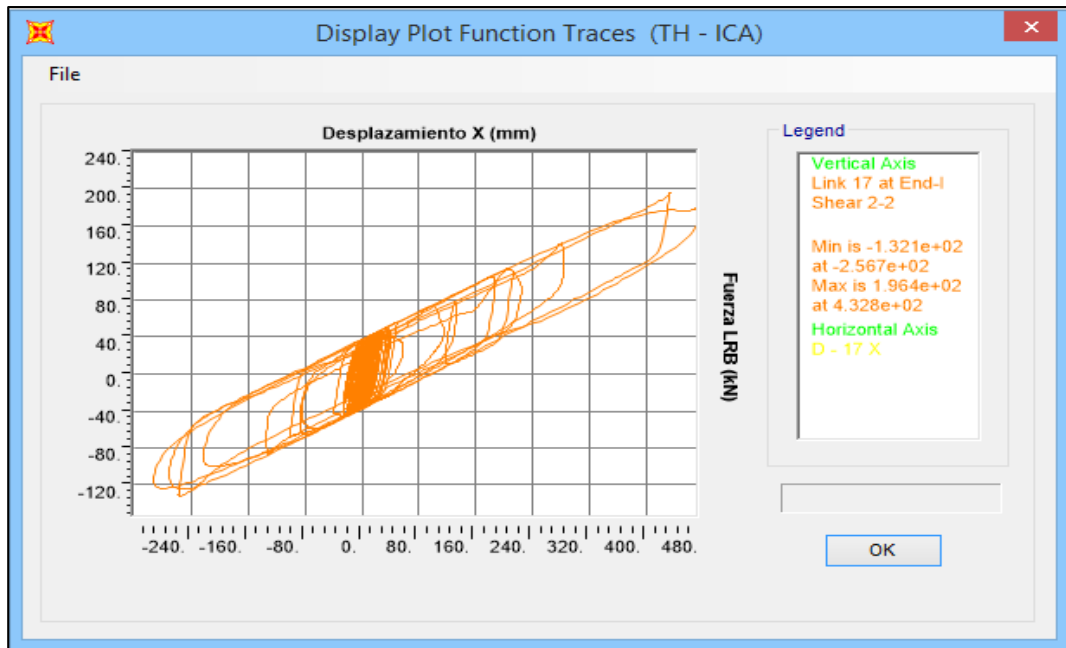
Fuente: Propia

Anexo N° 80 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 4” para Ica (2007)



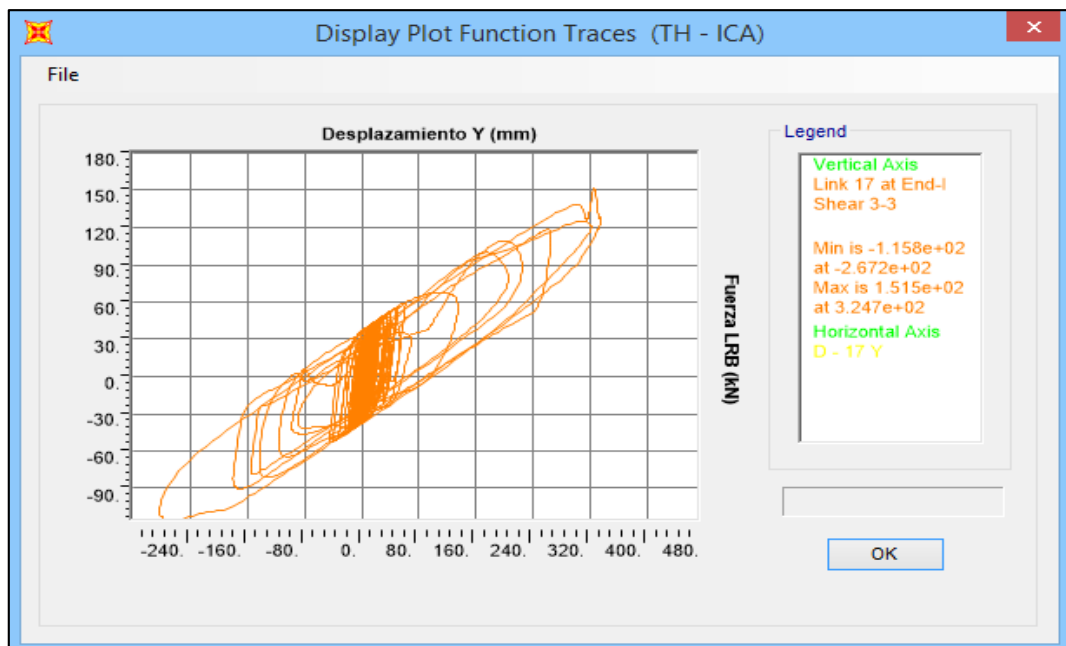
Fuente: Propia

Anexo N° 81 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 4” para Ica (2007)



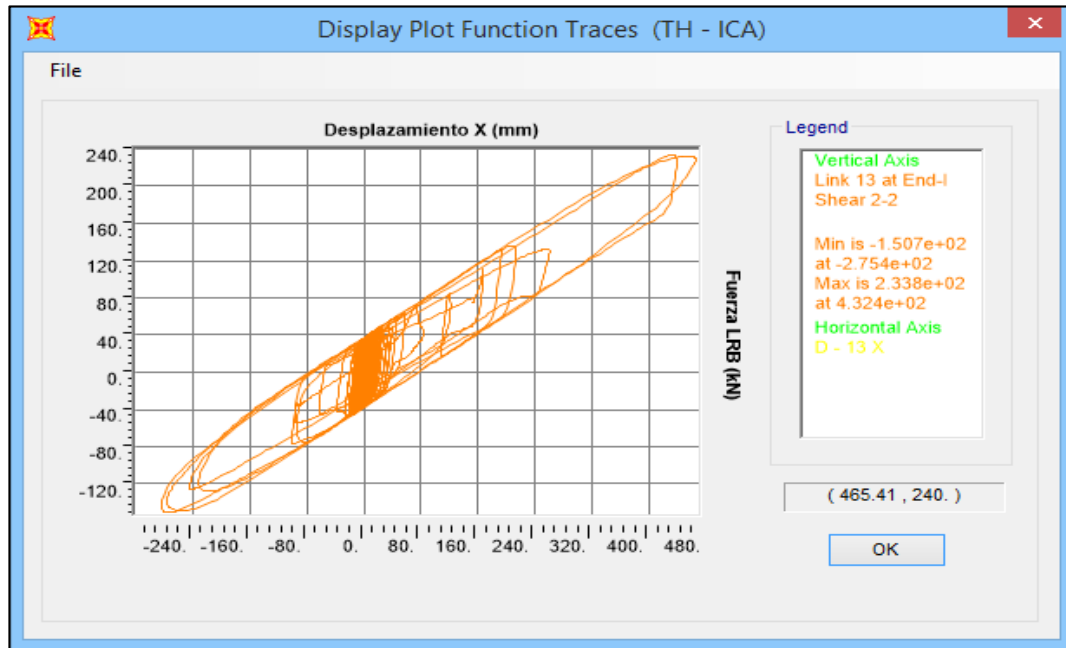
Fuente: Propia

Anexo N° 82 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 4” para Ica (2007)



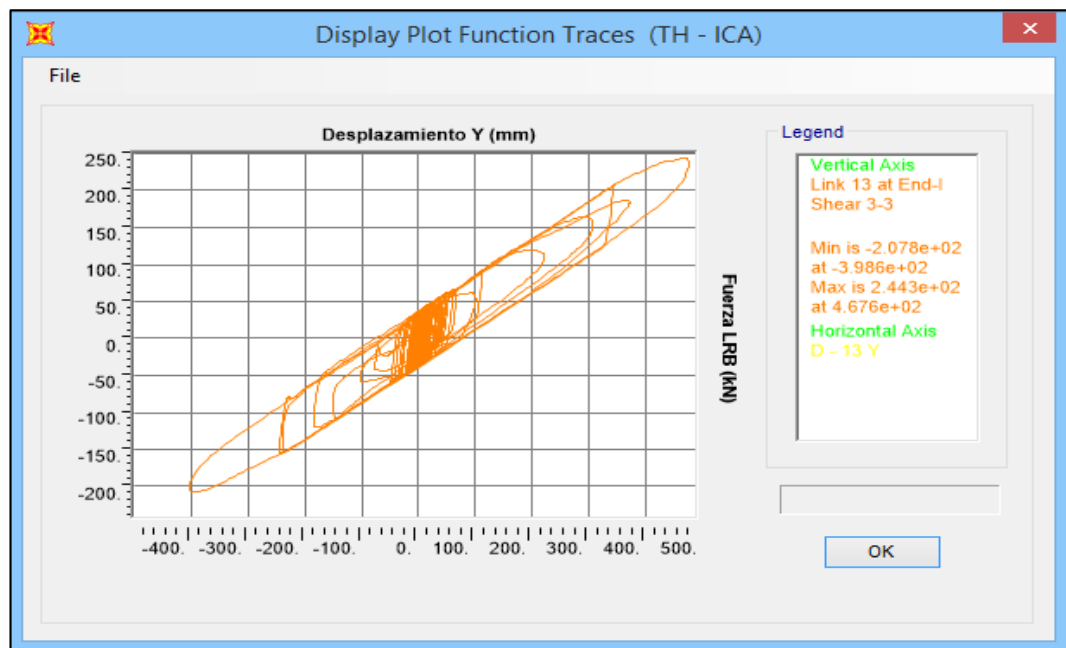
Fuente: Propia

Anexo N° 83 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 5” para Ica (2007)



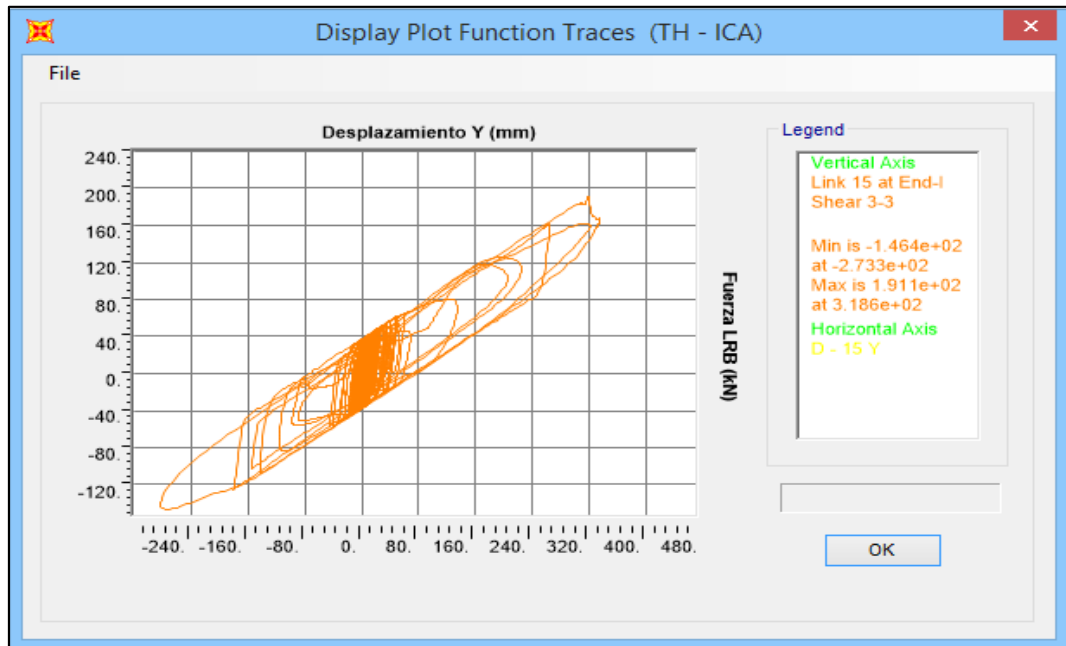
Fuente: Propia

Anexo N° 84 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 5” para Ica (2007)



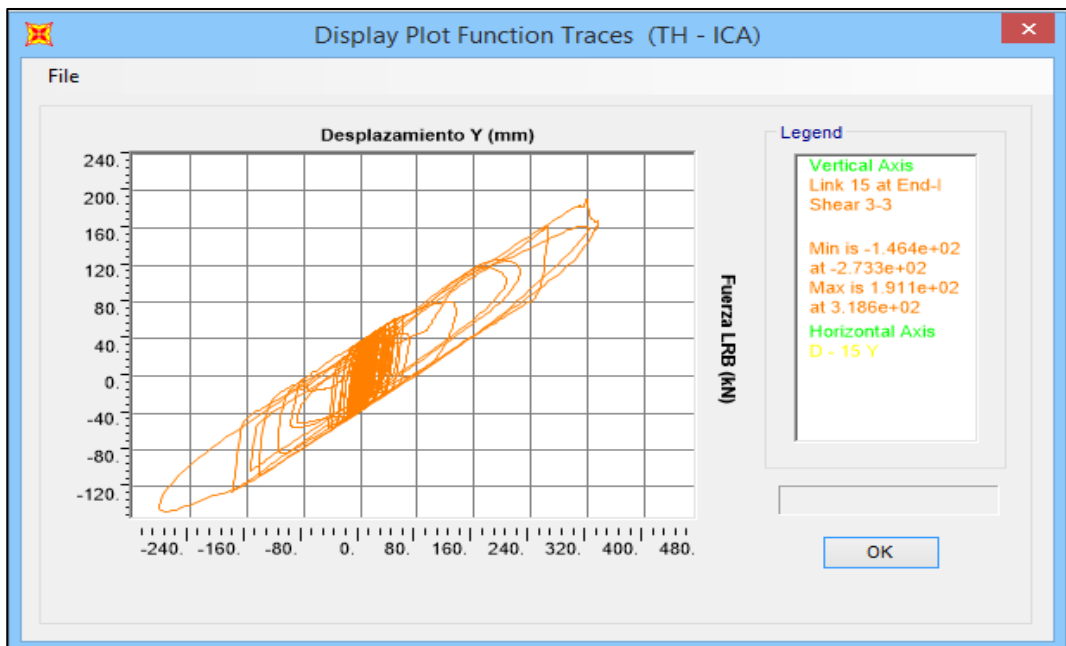
Fuente: Propia

Anexo N° 85 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 5” para Ica (2007)



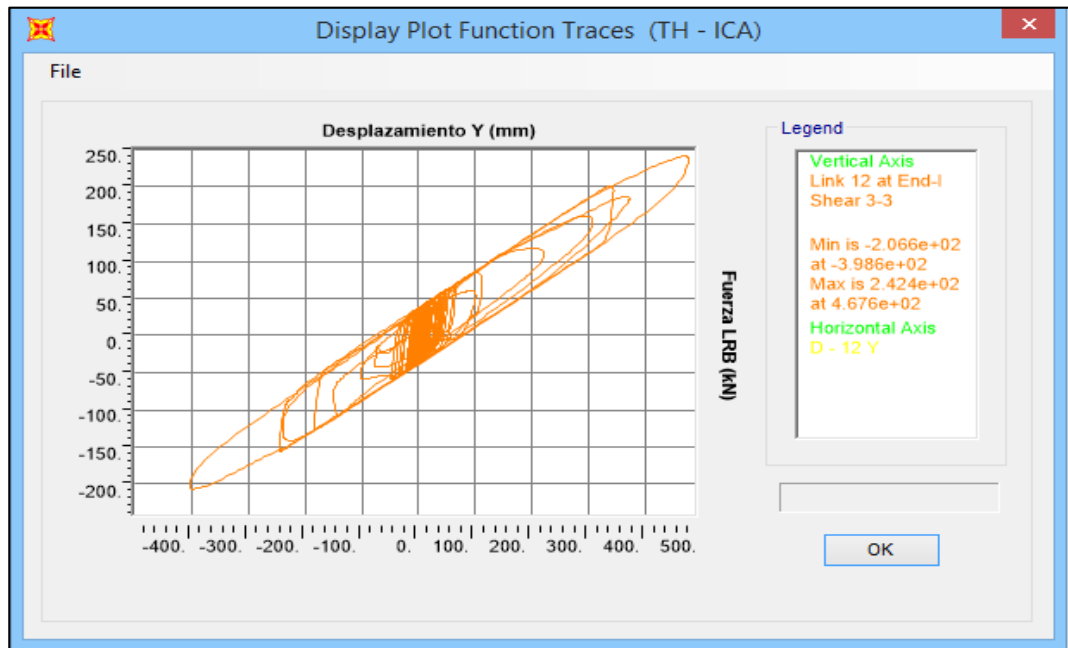
Fuente: Propia

Anexo N° 86 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 5” para Ica (2007)



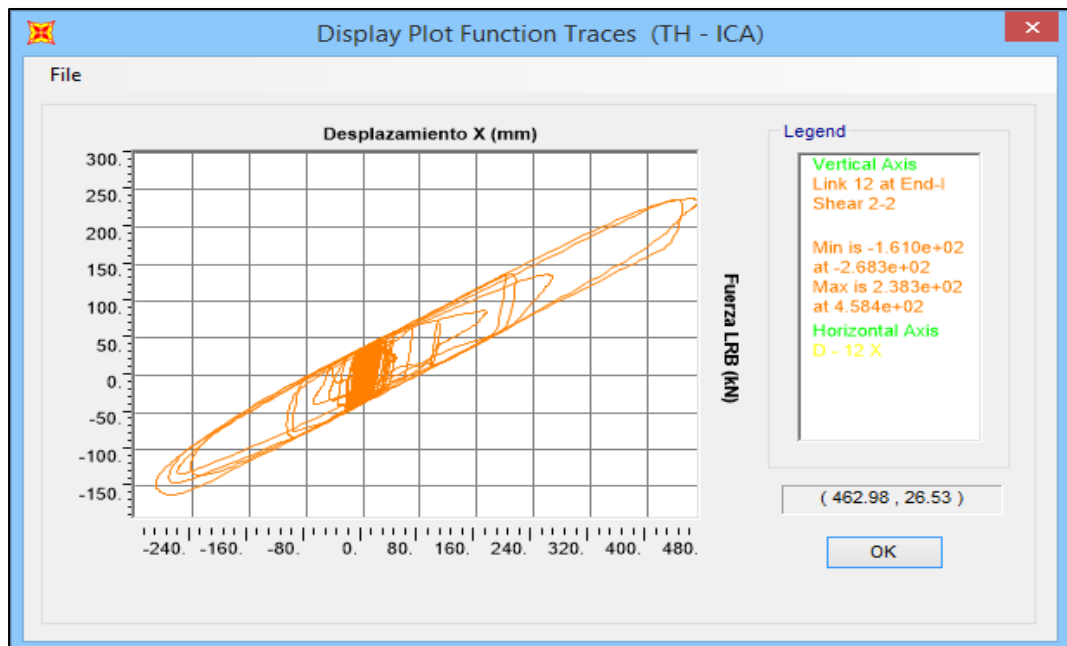
Fuente: Propia

Anexo N° 87 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 6” para Ica (2007)



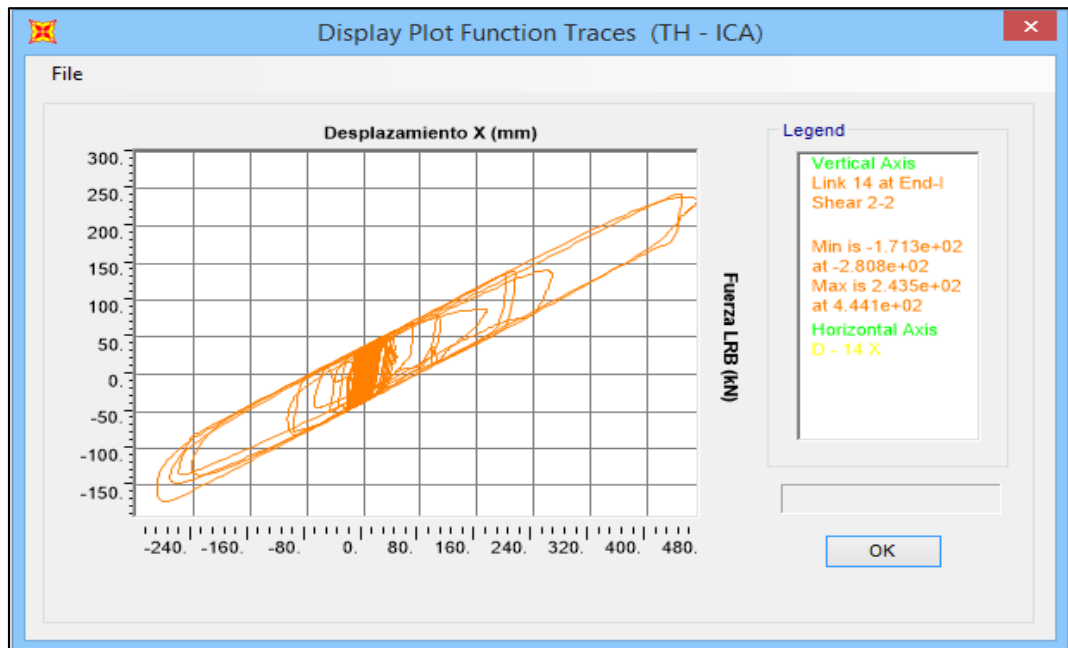
Fuente: Propia

Anexo N° 88 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 6” para Ica (2007)



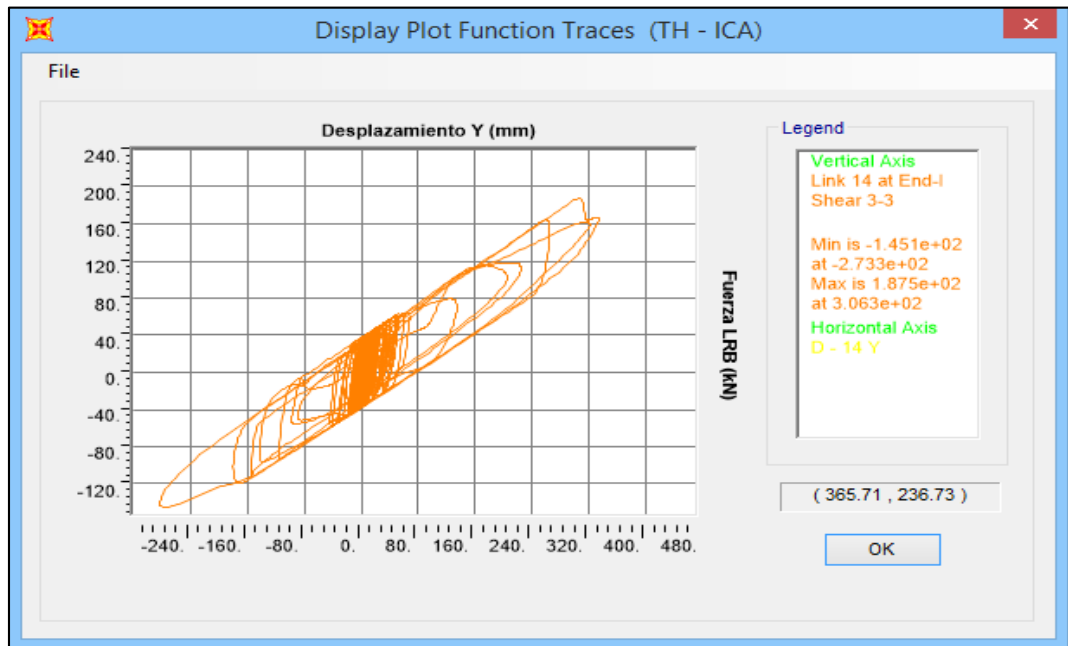
Fuente: Propia

Anexo N° 89 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 6” para Ica (2007)



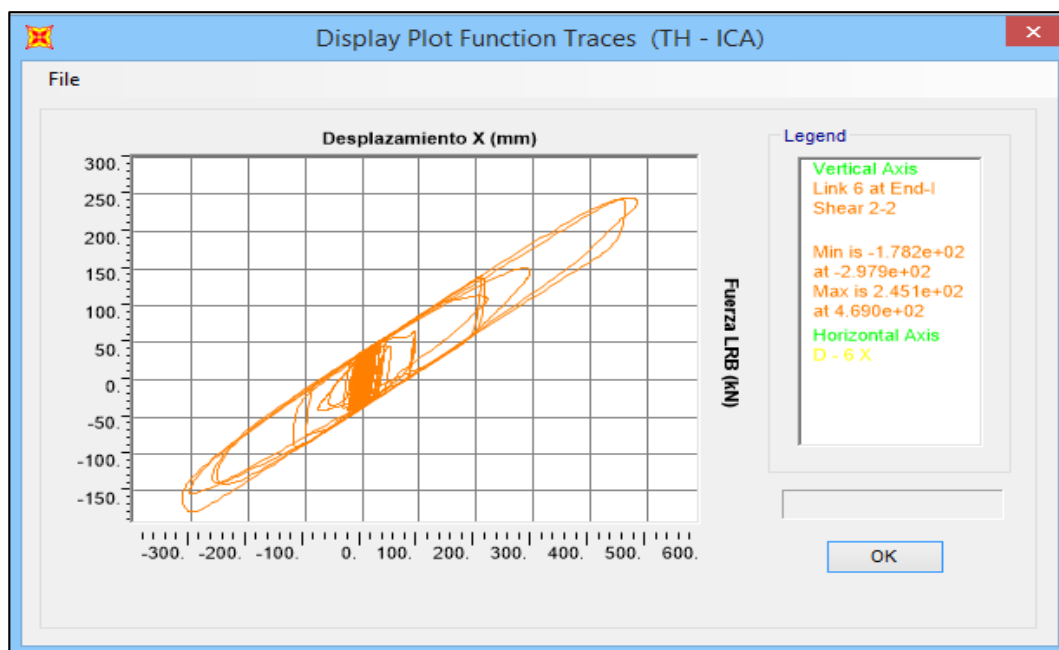
Fuente: Propia

Anexo N° 90 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 6” para Ica (2007)



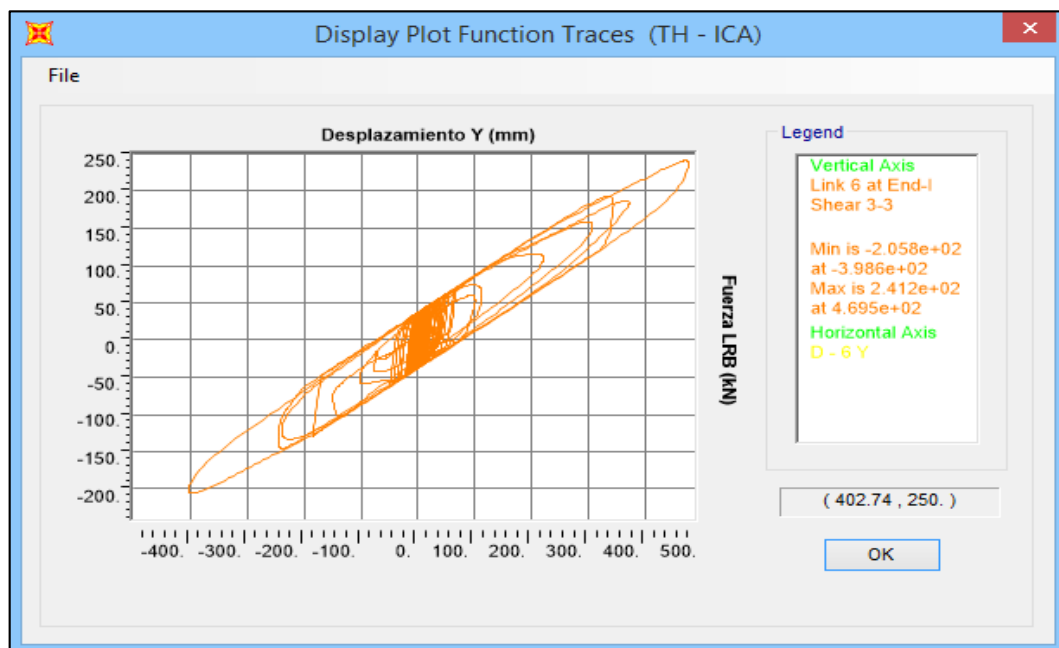
Fuente: Propia

Anexo N° 91 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 7” para Ica (2007)



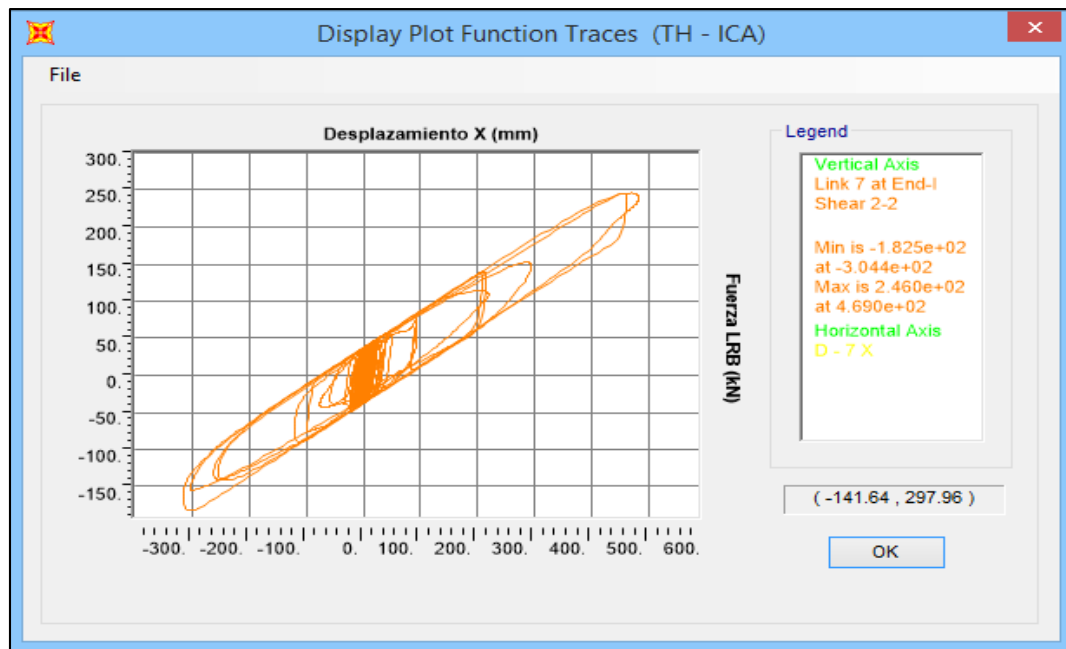
Fuente: Propia

Anexo N° 92 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 7” para Ica (2007)



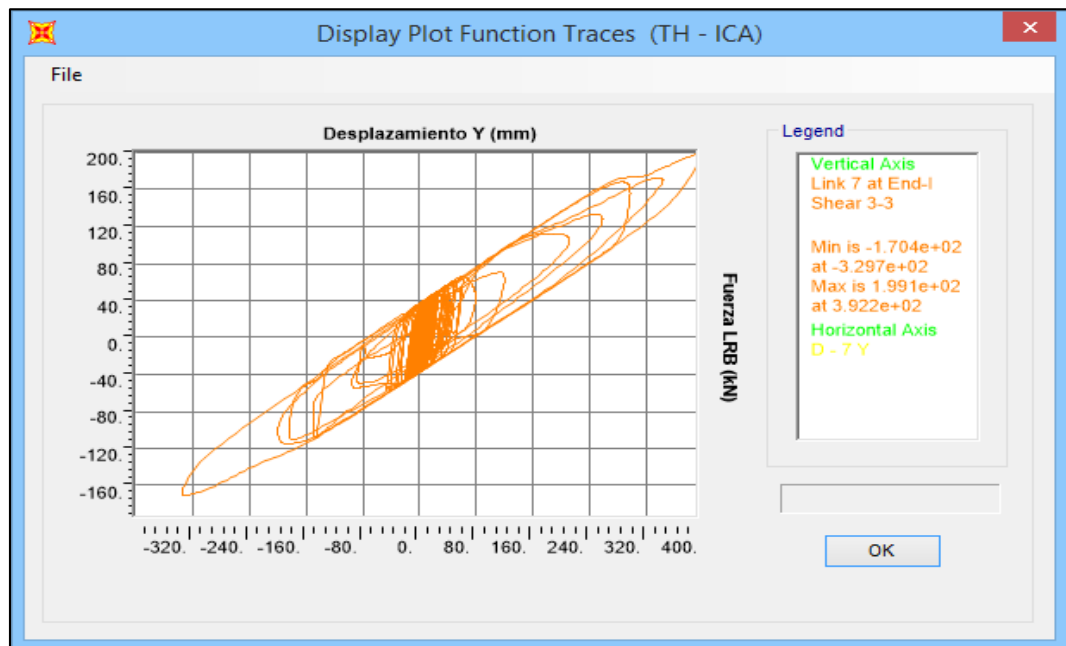
Fuente: Propia

Anexo N° 93 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “B – 7” para Ica (2007)



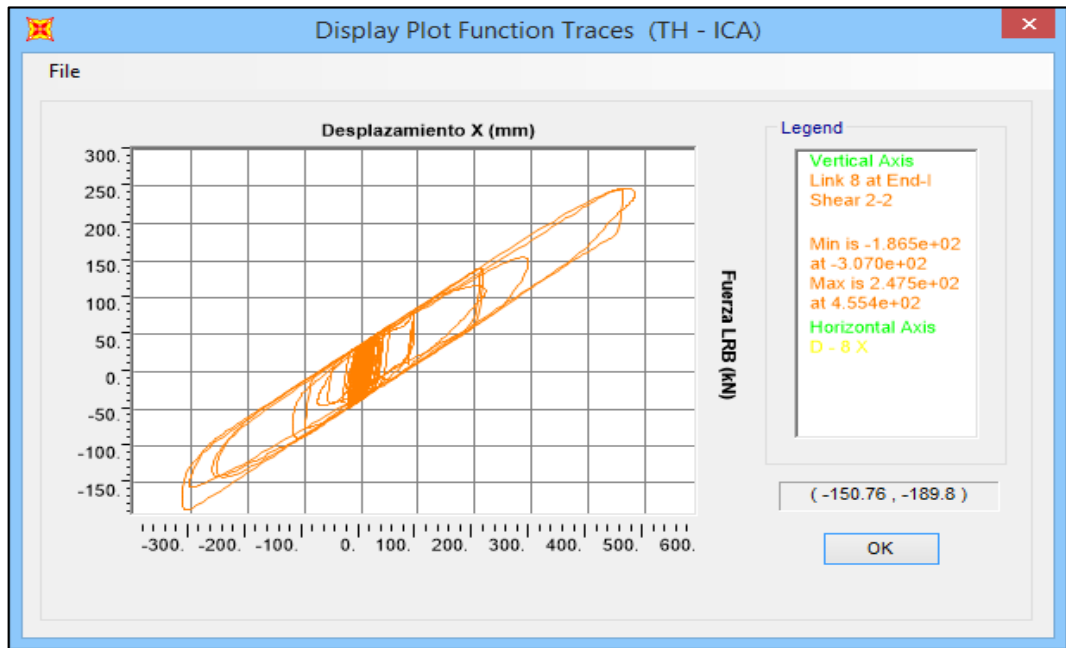
Fuente: Propia

Anexo N° 94 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “B – 7” para Ica (2007)



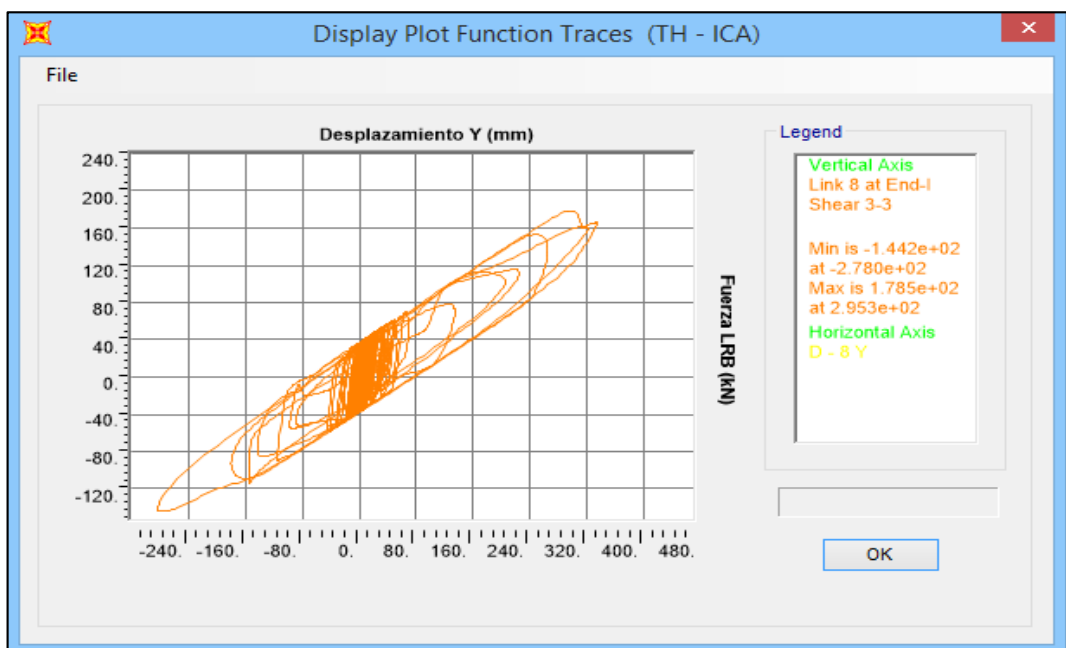
Fuente: Propia

Anexo N° 95 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

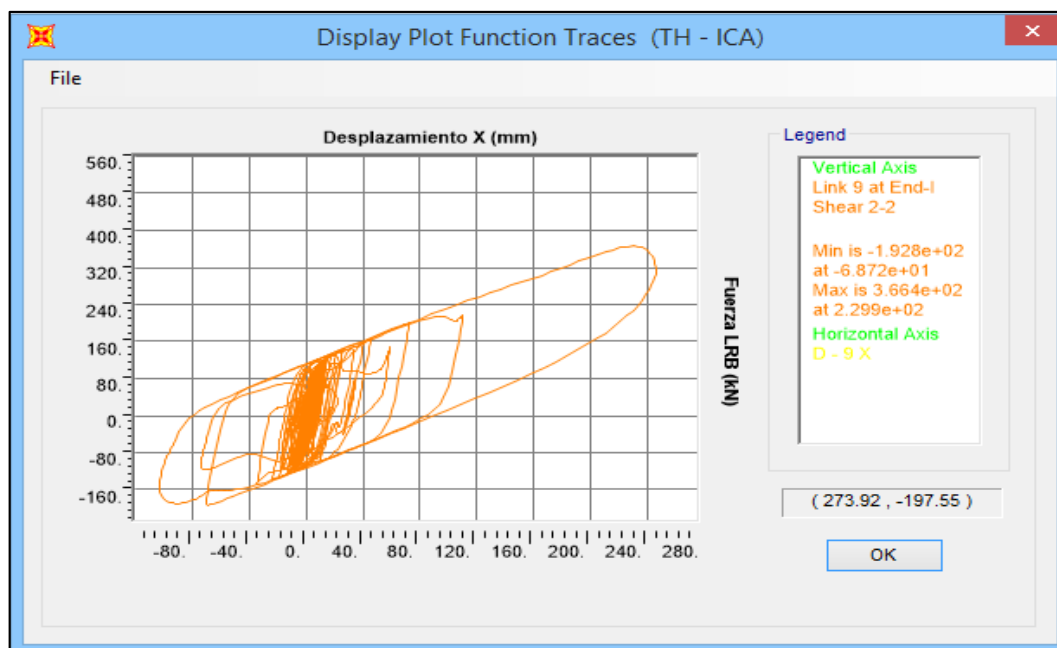
Anexo N° 96 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

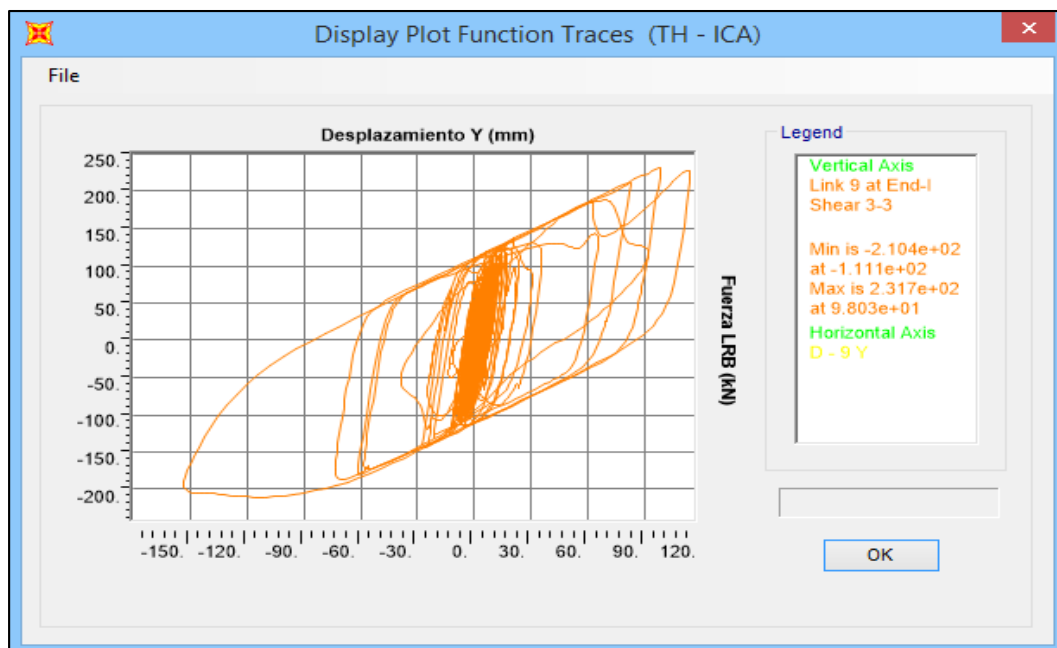
Comportamiento Histerético HDRB en Límite Superior

Anexo N° 97 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 1” para Ica (2007)



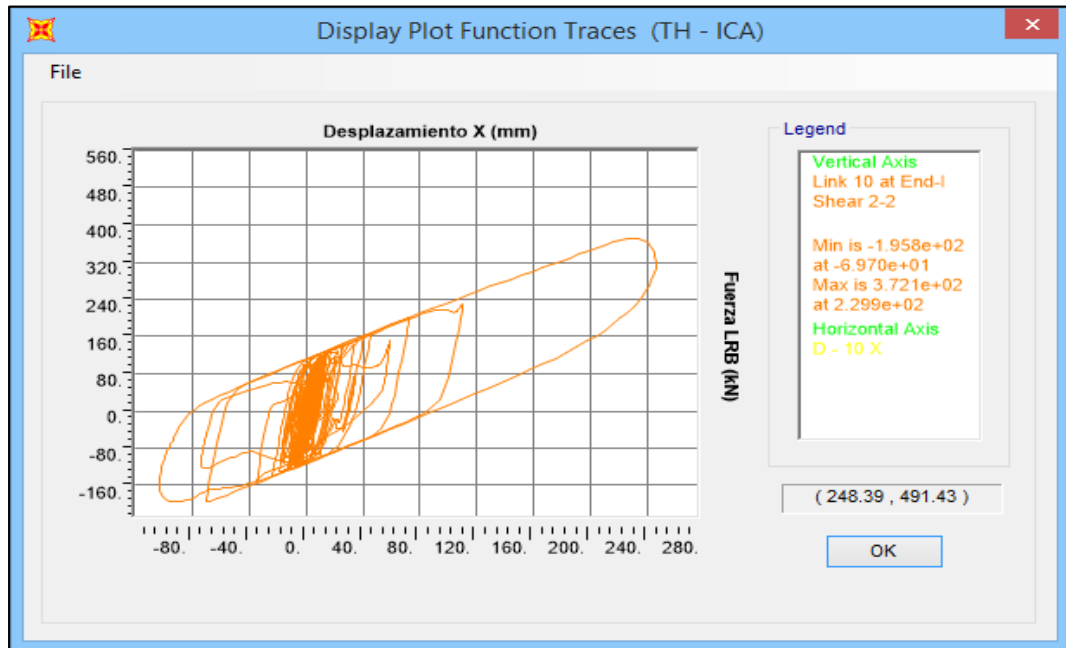
Fuente: Propia

Anexo N° 98 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 1” para Ica (2007)



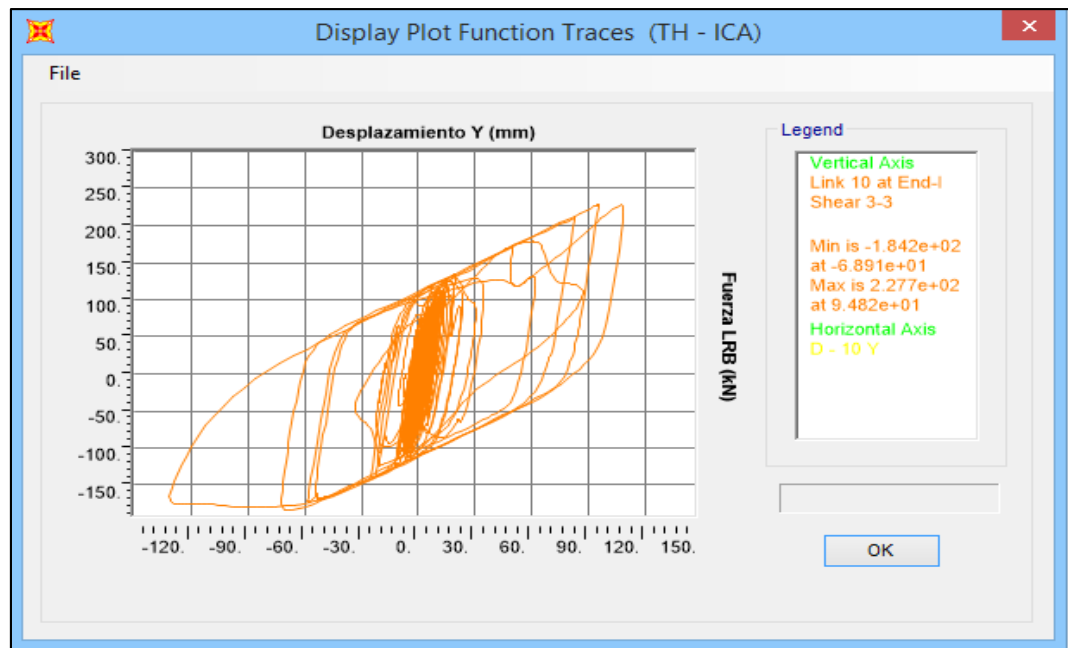
Fuente: Propia

Anexo N° 99 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “B – 1” para Ica (2007)



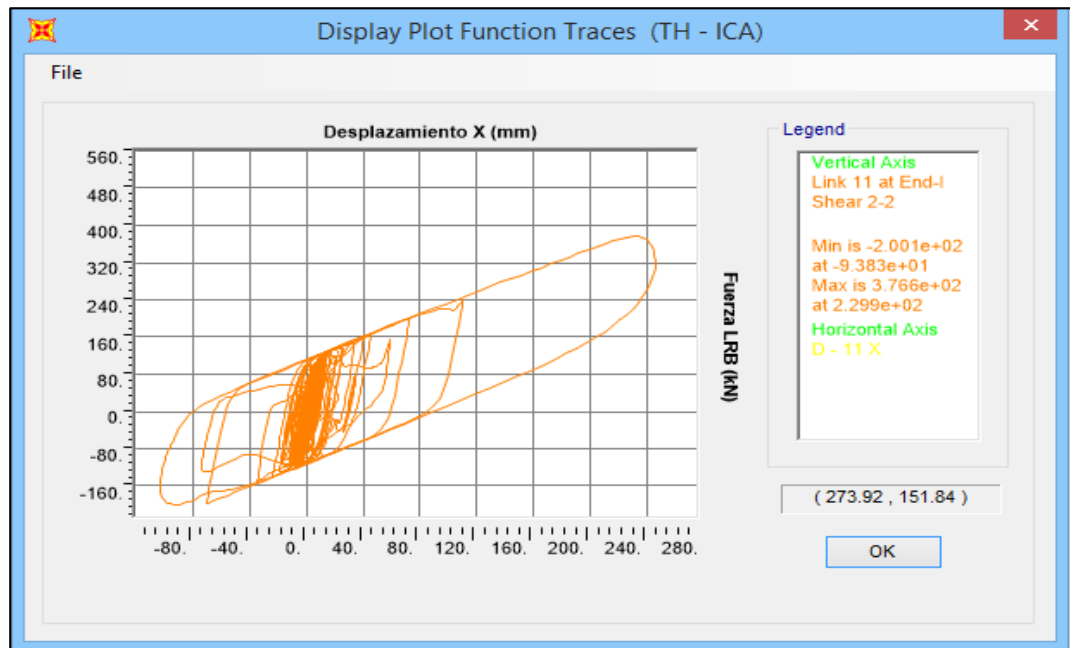
Fuente: Propia

Anexo N° 100 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “B – 1” para Ica (2007)



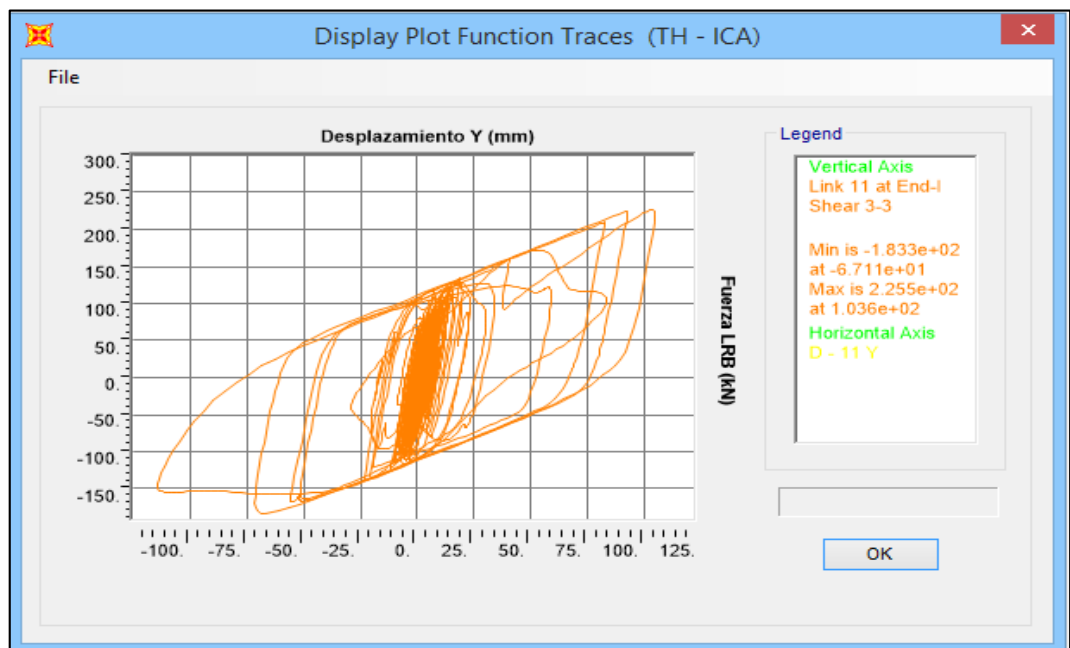
Fuente: Propia

Anexo N° 101 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 1” para Ica (2007)



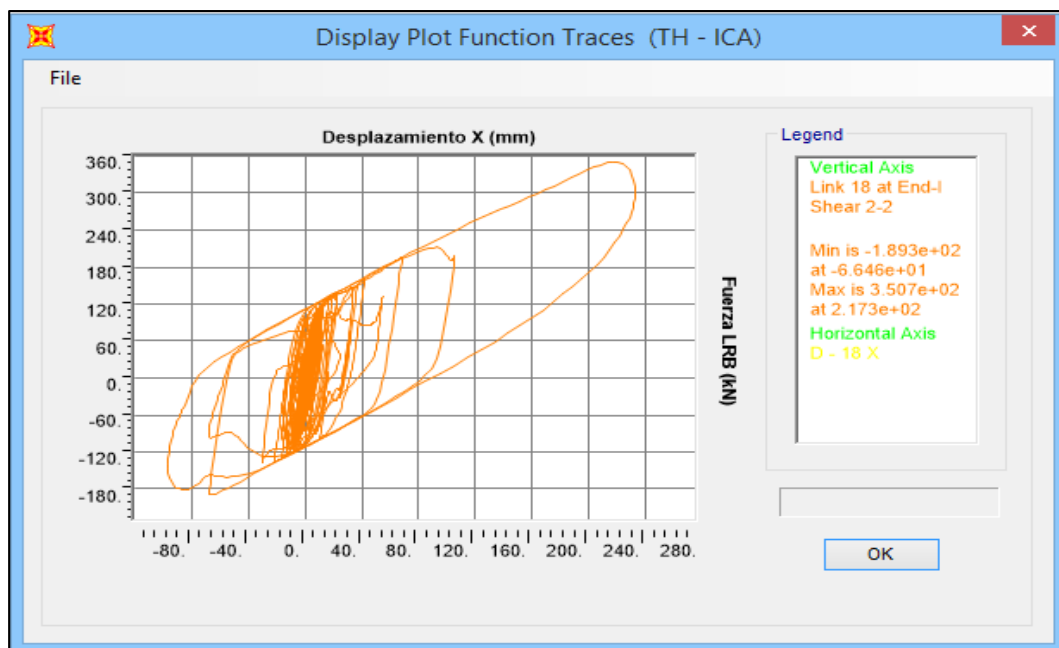
Fuente: Propia

Anexo N° 102 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 1” para Ica (2007)



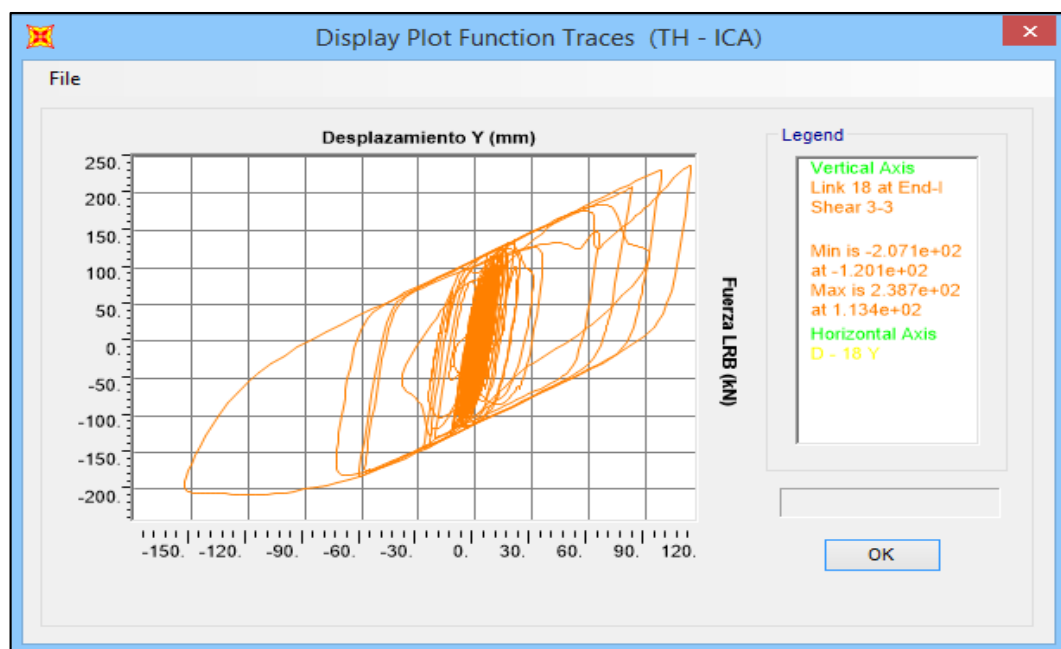
Fuente: Propia

Anexo N° 103 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 2” para Ica (2007)



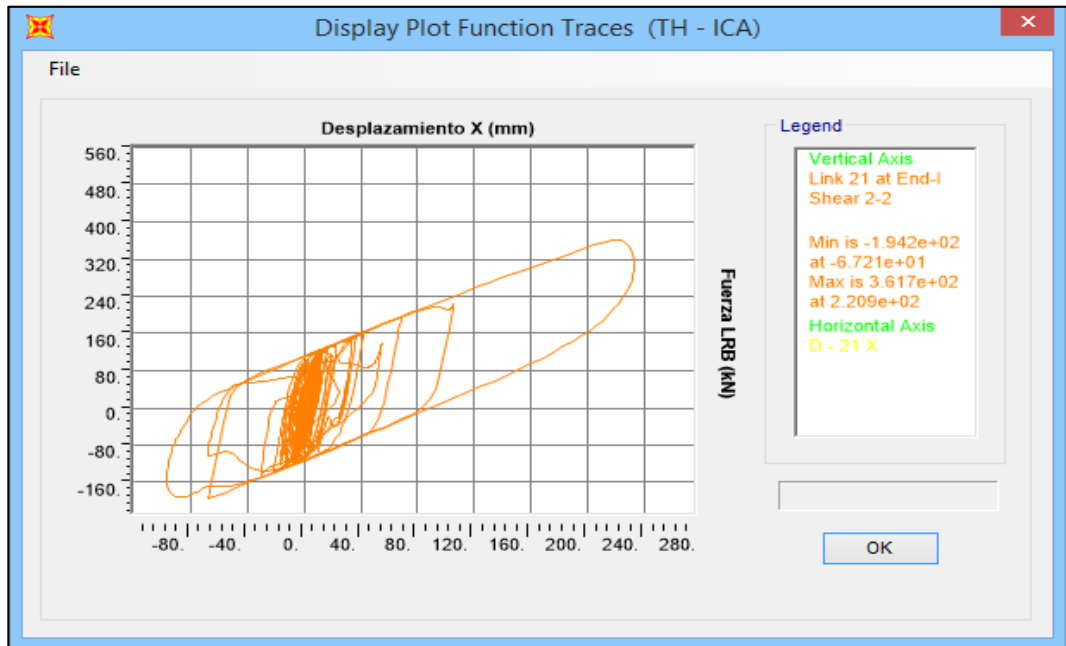
Fuente: Propia

Anexo N° 104 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 2” para Ica (2007)



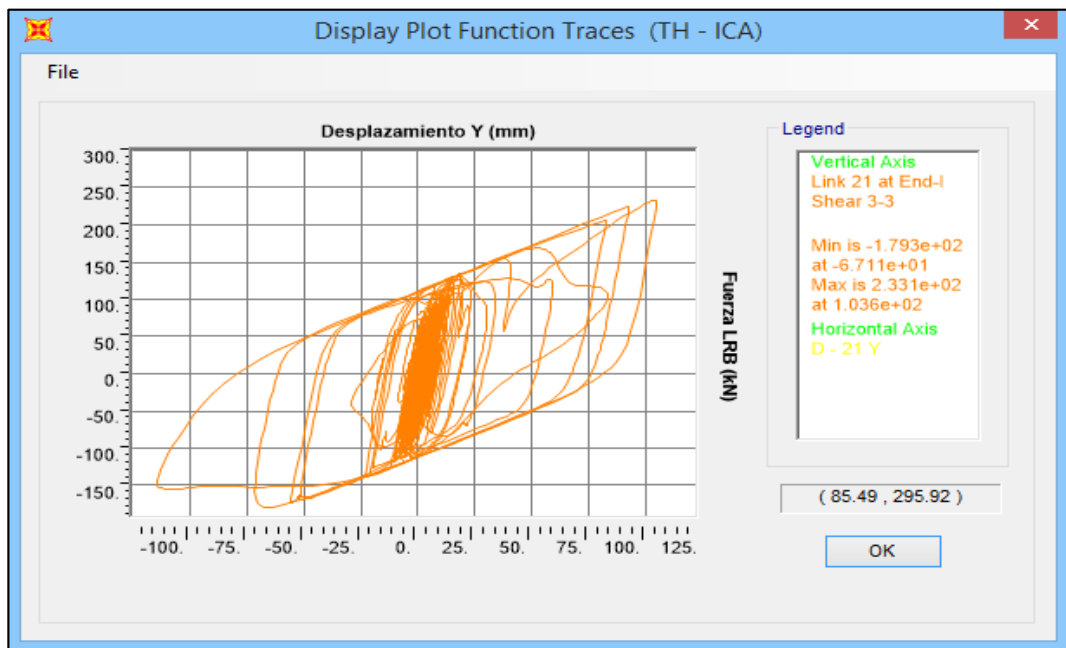
Fuente: Propia

Anexo N° 105 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 2” para Ica (2007)



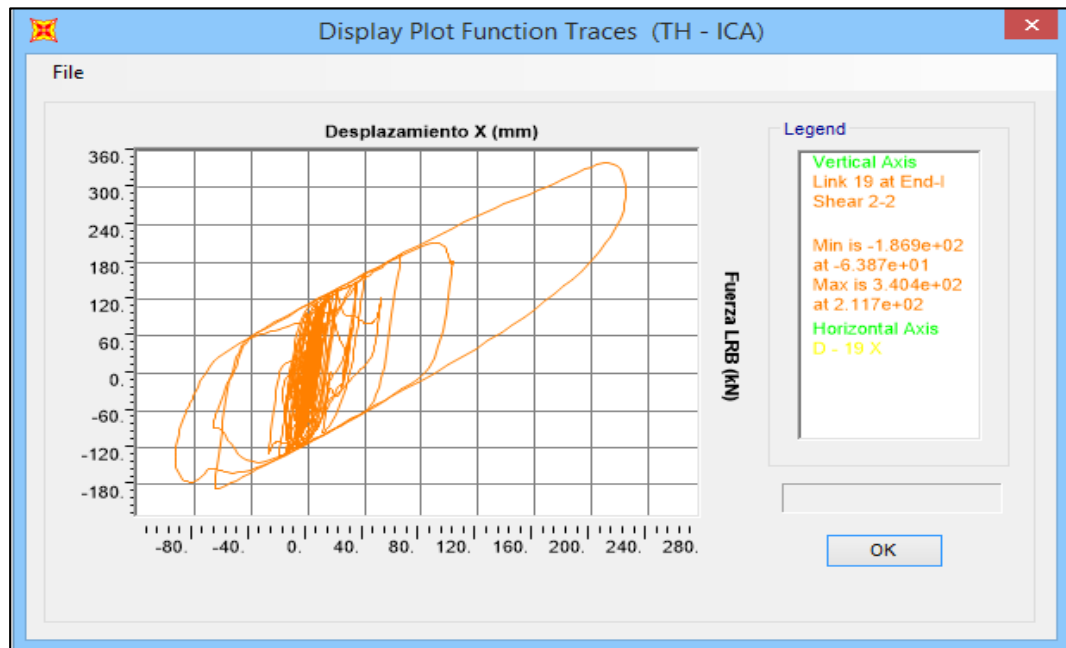
Fuente: Propia

Anexo N° 106 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 2” para Ica (2007)



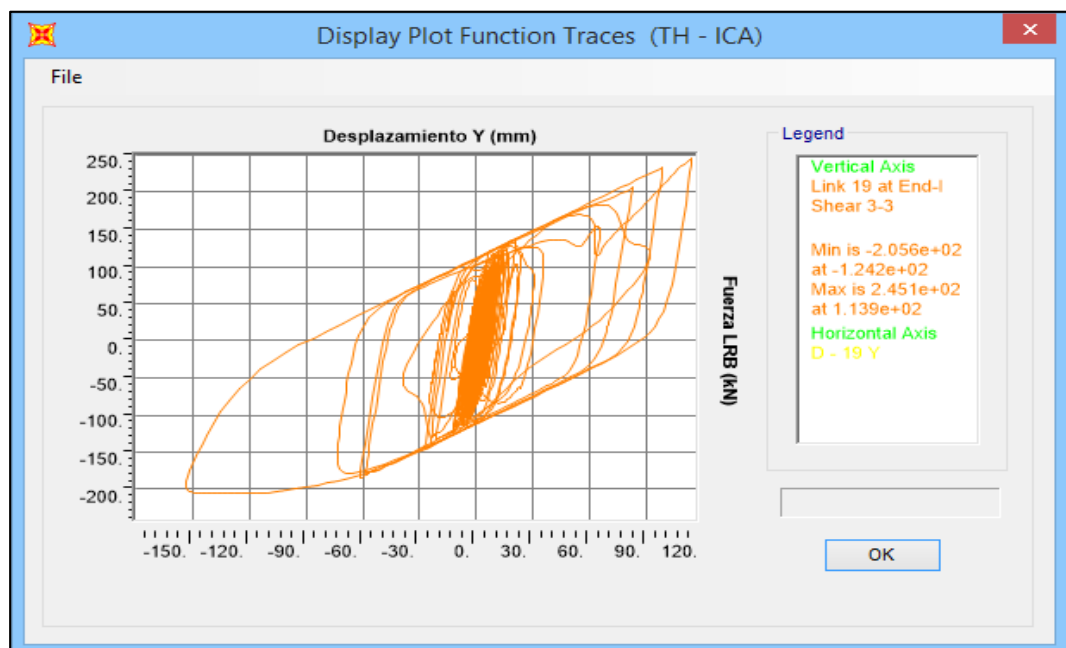
Fuente: Propia

Anexo N° 107 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 3” para Ica (2007)



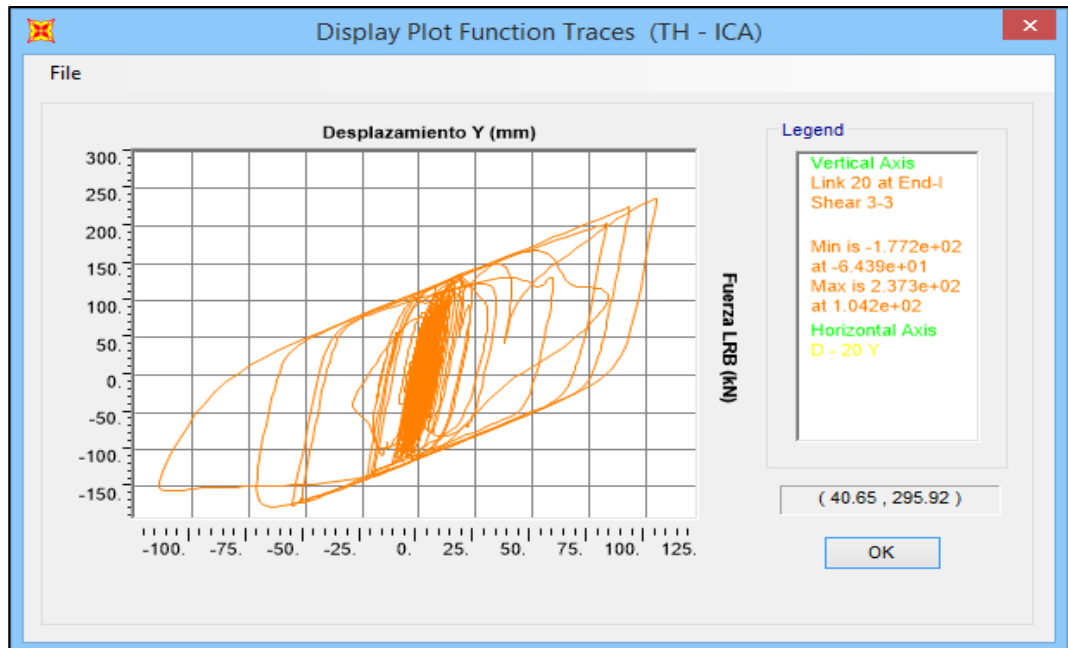
Fuente: Propia

Anexo N° 108 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 3” para Ica (2007)



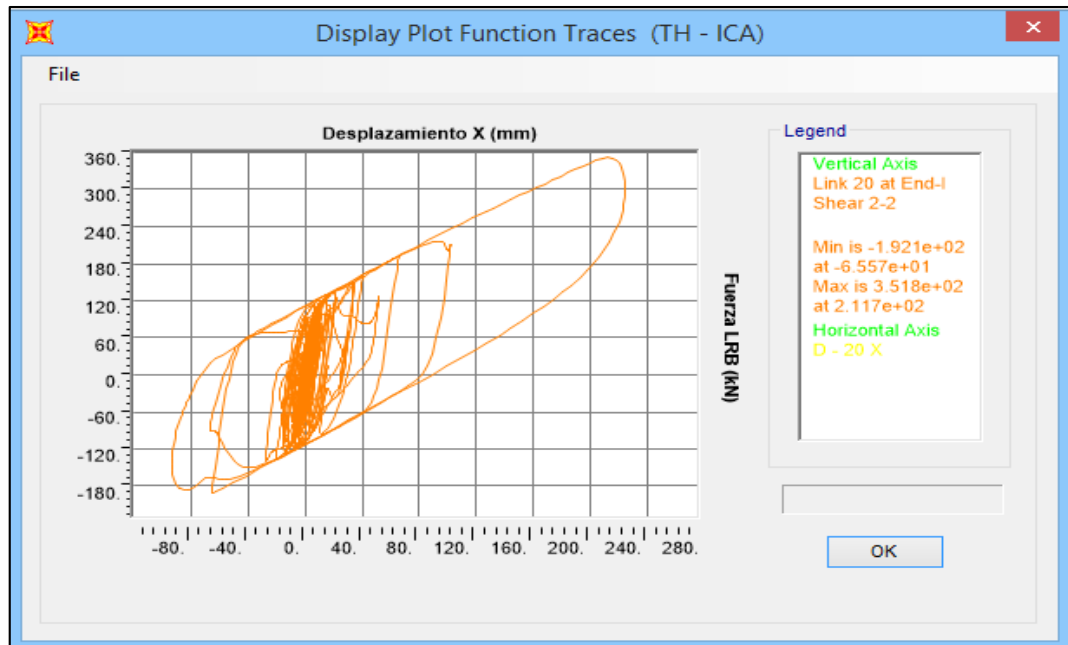
Fuente: Propia

Anexo N° 109 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 3” para Ica (2007)



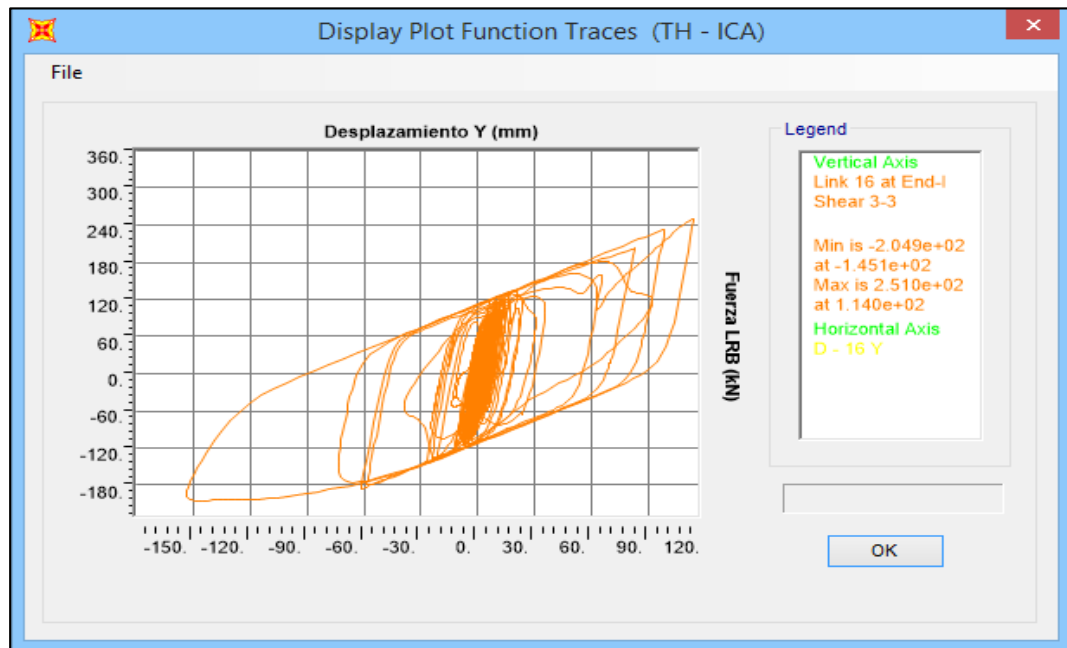
Fuente: Propia

Anexo N° 110 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 3” para Ica (2007)



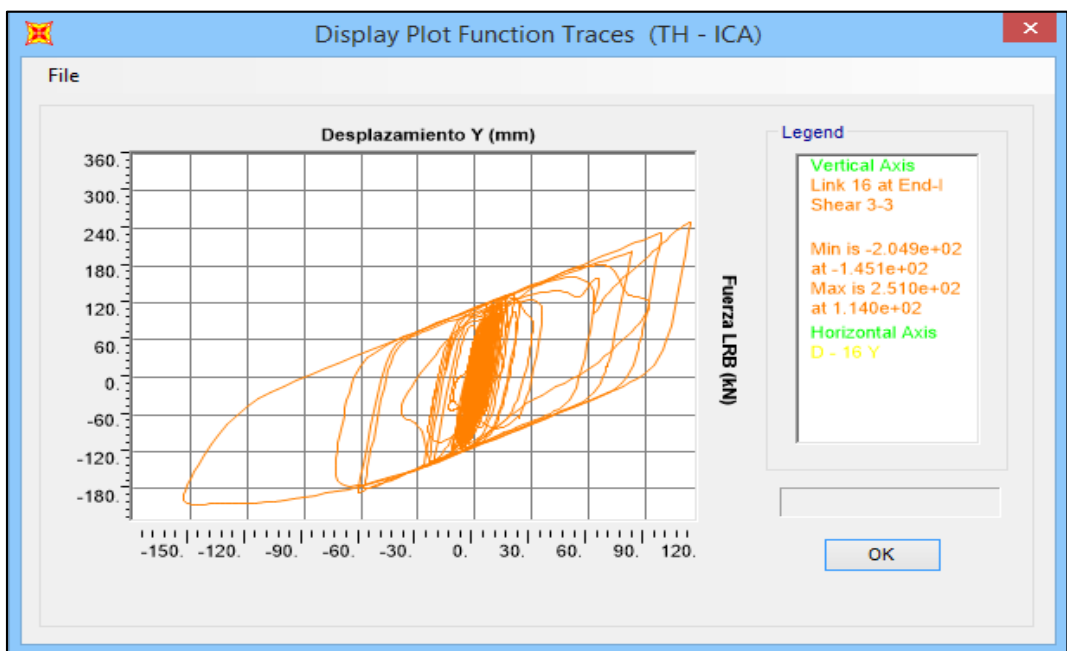
Fuente: Propia

Anexo N° 111 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “A – 4” para Ica (2007)



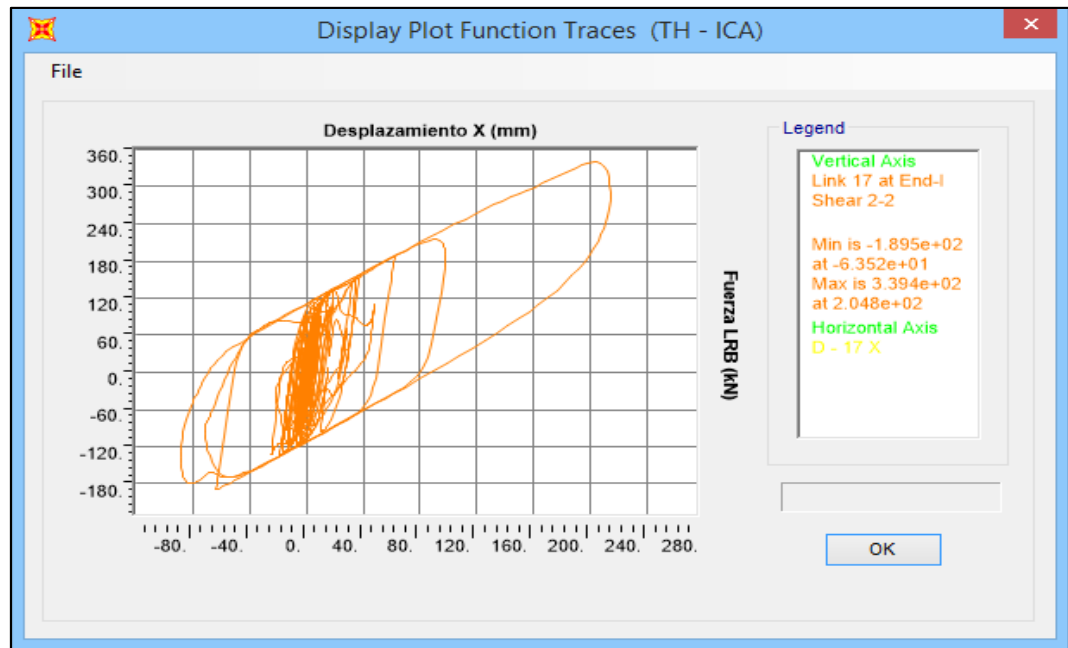
Fuente: Propia

Anexo N° 112 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “A – 4” para Ica (2007)



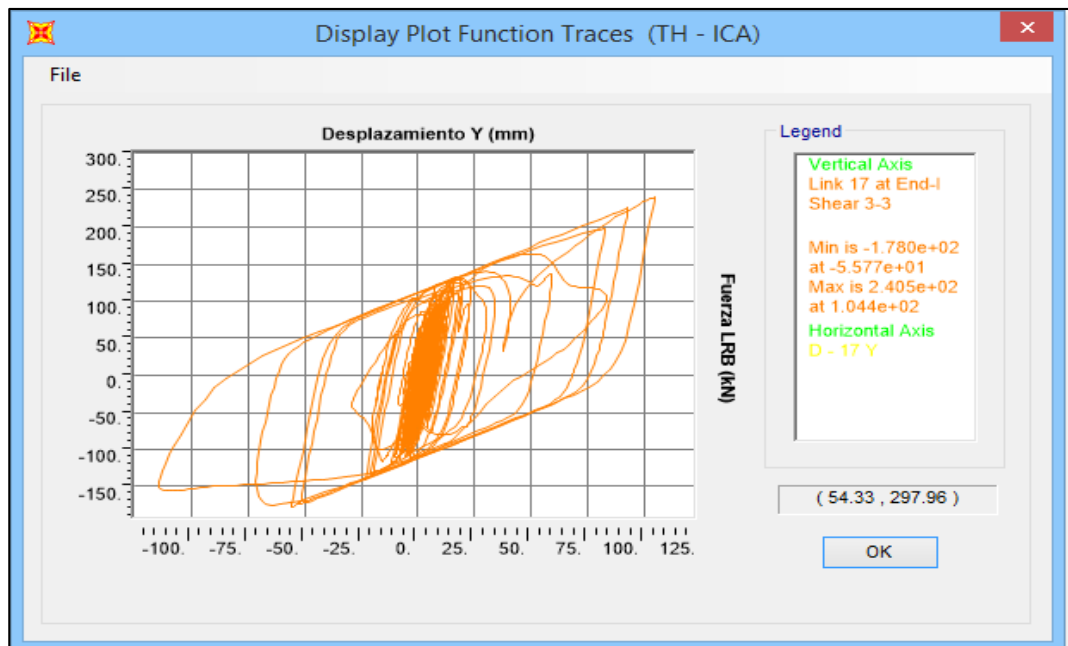
Fuente: Propia

Anexo N° 113 – Desplazamientos sentido X de LL0604G C en EJE “C – 4” para Ica (2007)



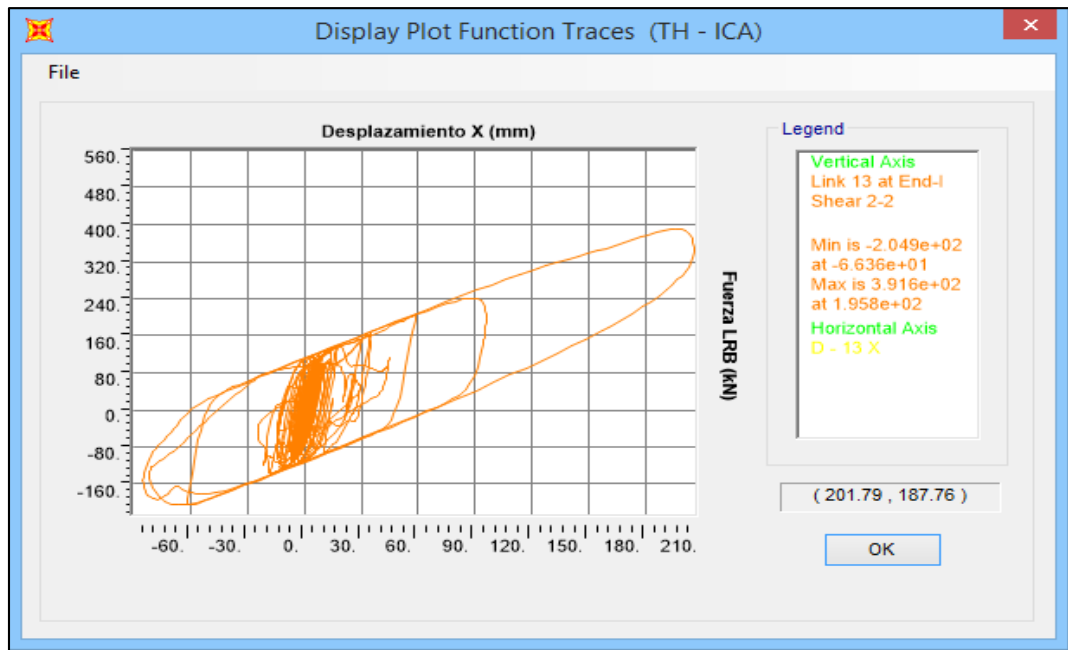
Fuente: Propia

Anexo N° 114 – Desplazamientos sentido Y de LL0604G C en EJE “C – 4” para Ica (2007)



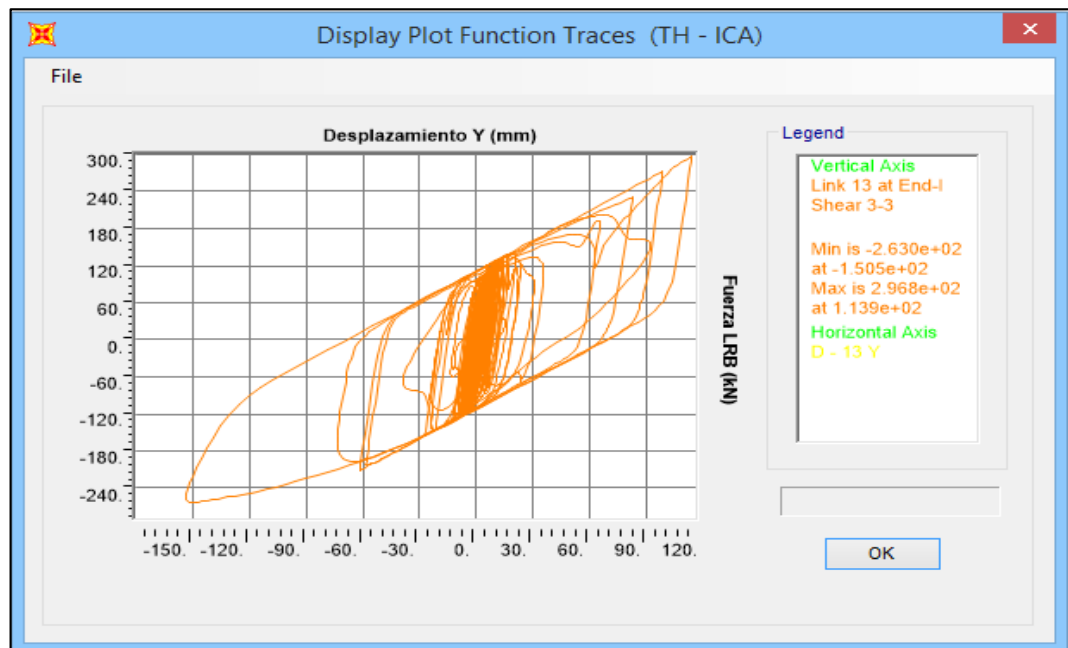
Fuente: Propia

Anexo N° 115 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 5” para Ica (2007)



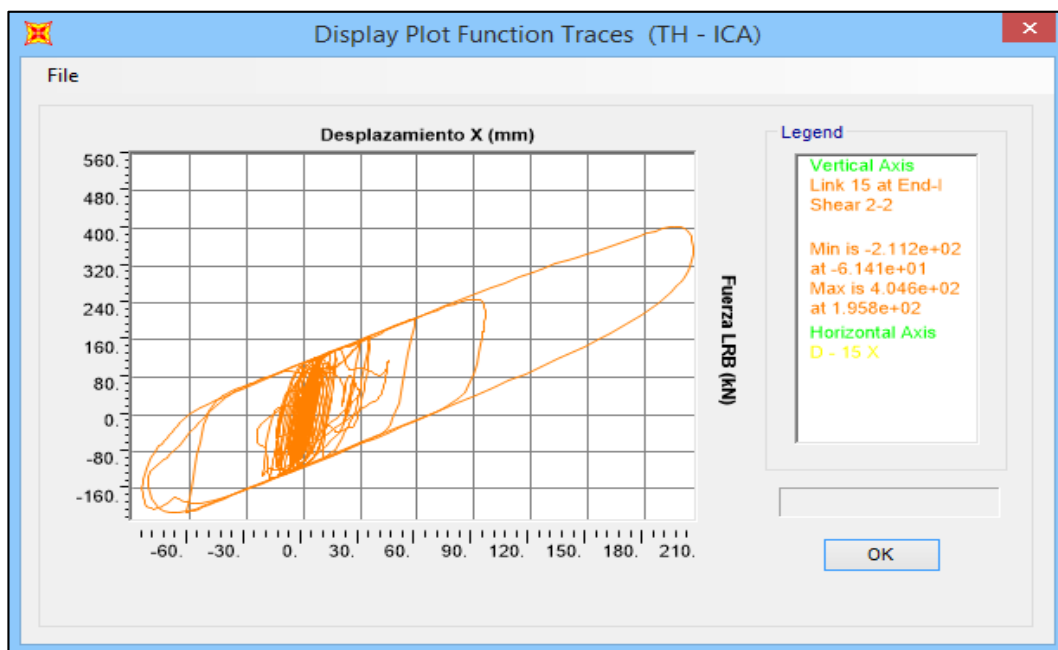
Fuente: Propia

Anexo N° 116 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 5” para Ica (2007)



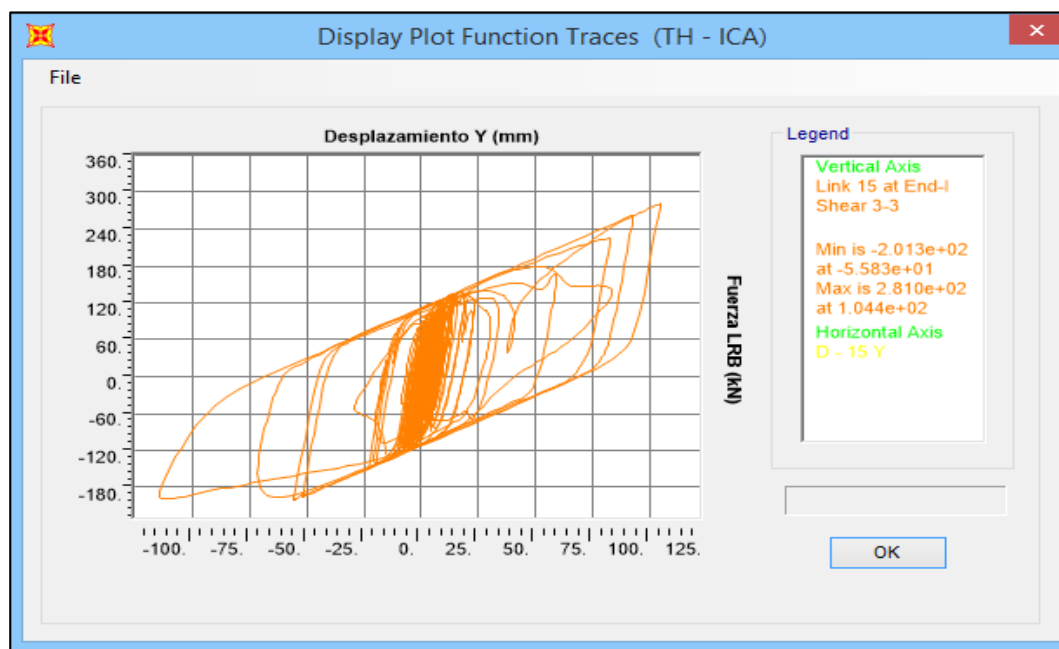
Fuente: Propia

Anexo N° 117 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 5” para Ica (2007)



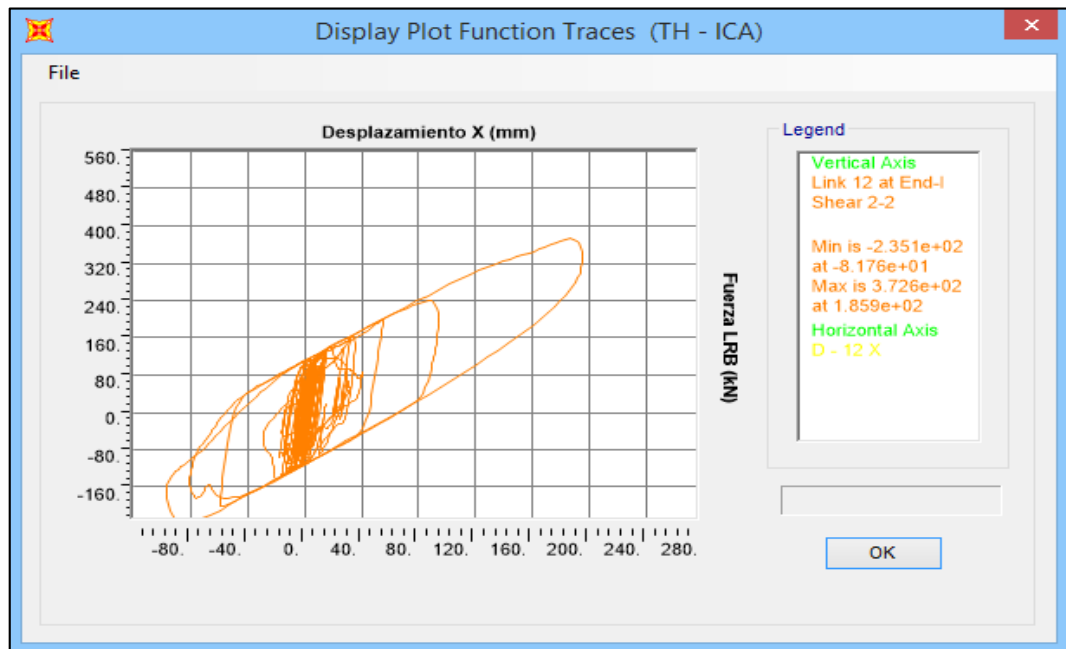
Fuente: Propia

Anexo N° 118 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 5” para Ica (2007)



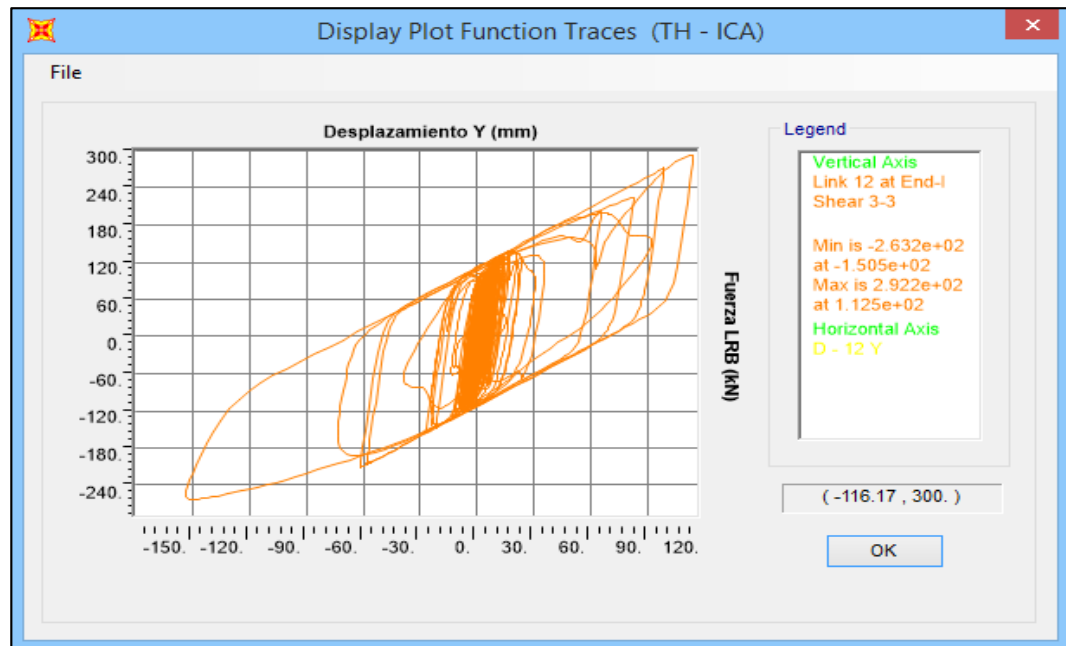
Fuente: Propia

Anexo N° 119 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 6” para Ica (2007)



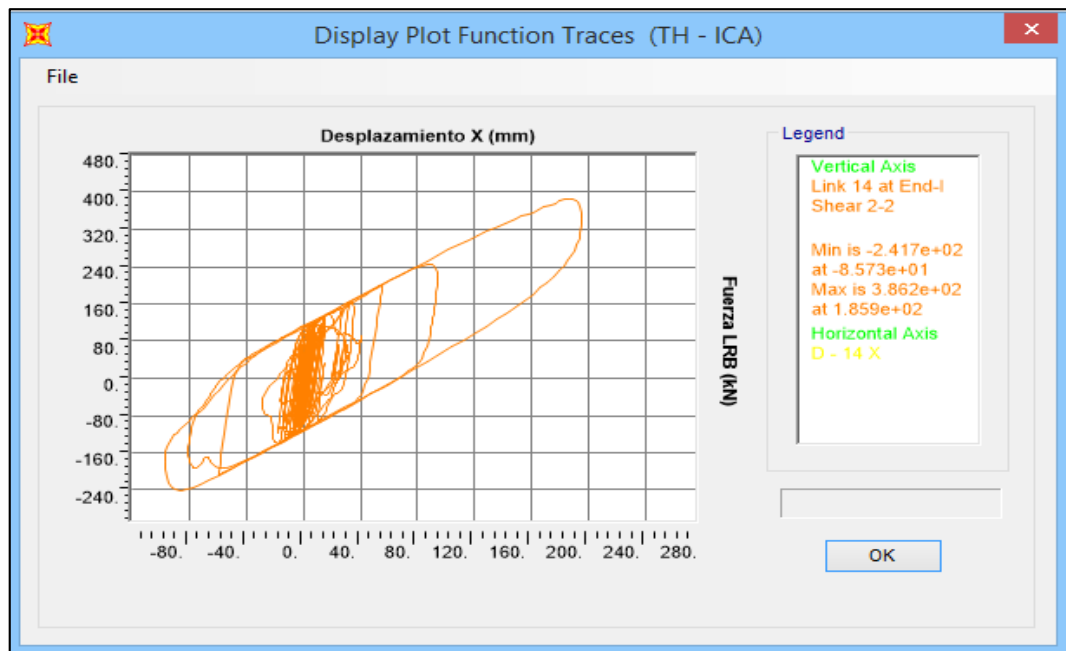
Fuente: Propia

Anexo N° 120 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 6” para Ica (2007)



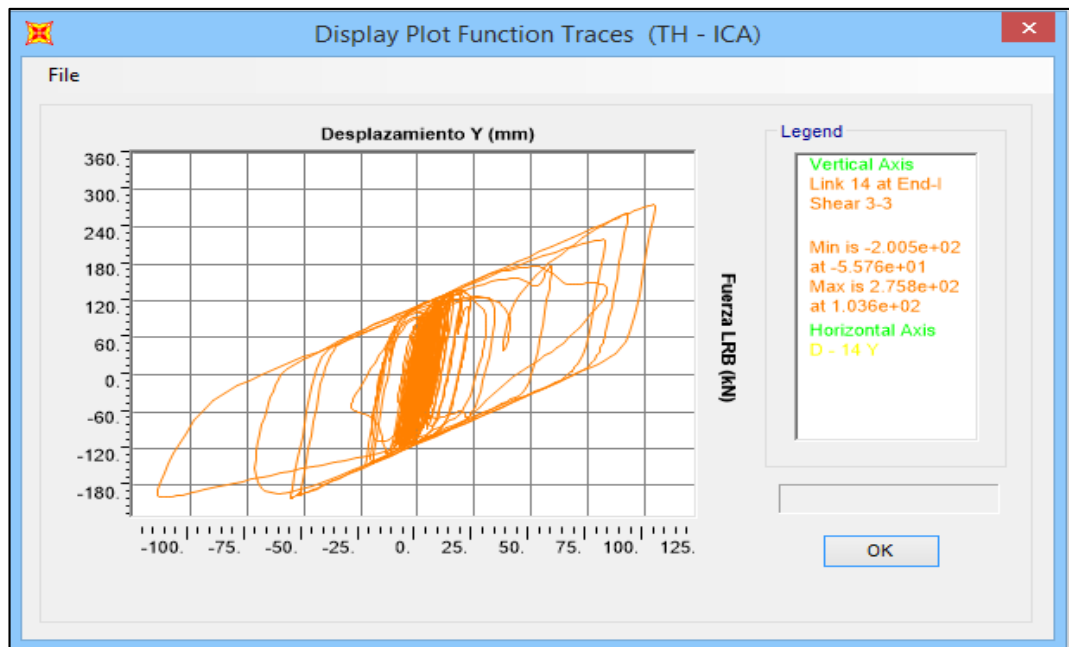
Fuente: Propia

Anexo N° 121 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 6” para Ica (2007)



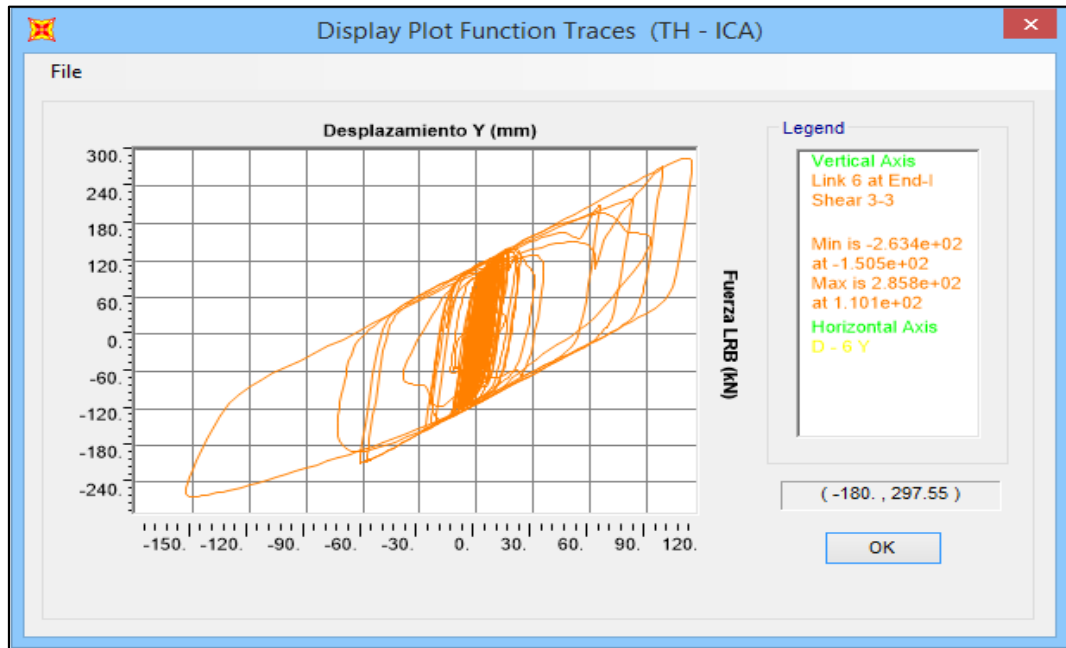
Fuente: Propia

Anexo N° 122 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 6” para Ica (2007)



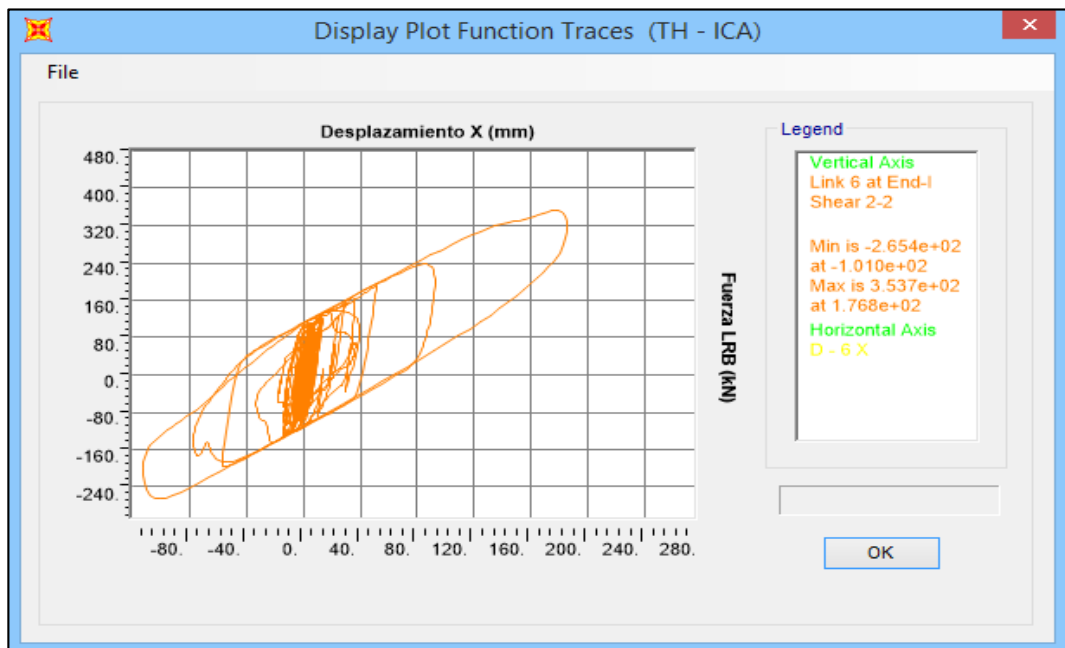
Fuente: Propia

Anexo N° 123 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “A – 7” para Ica (2007)



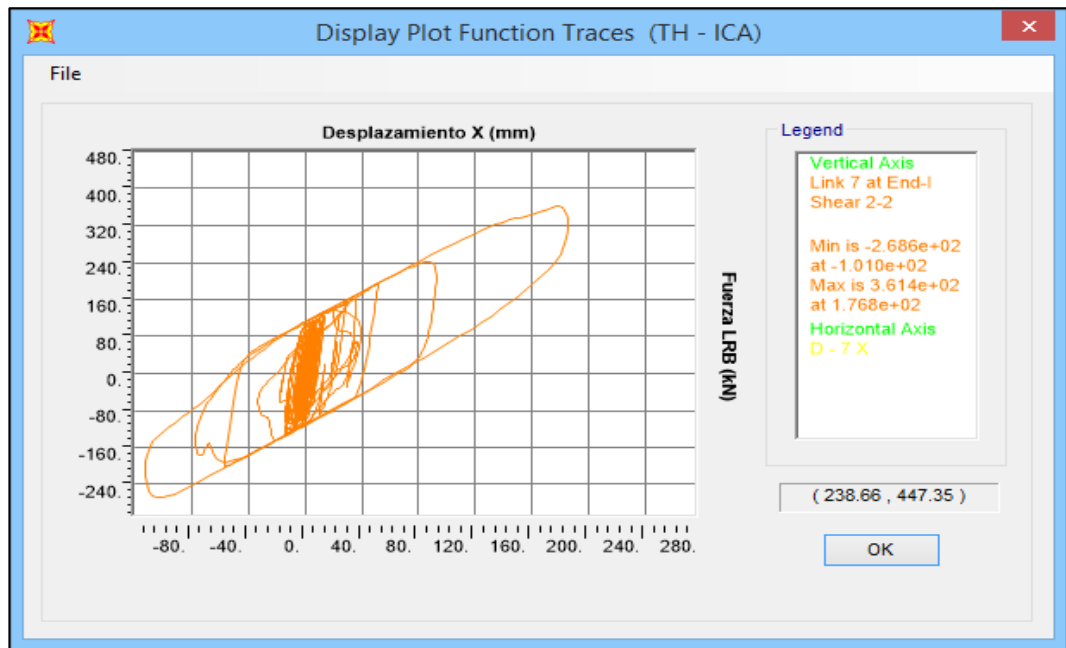
Fuente: Propia

Anexo N° 124 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “A – 7” para Ica (2007)



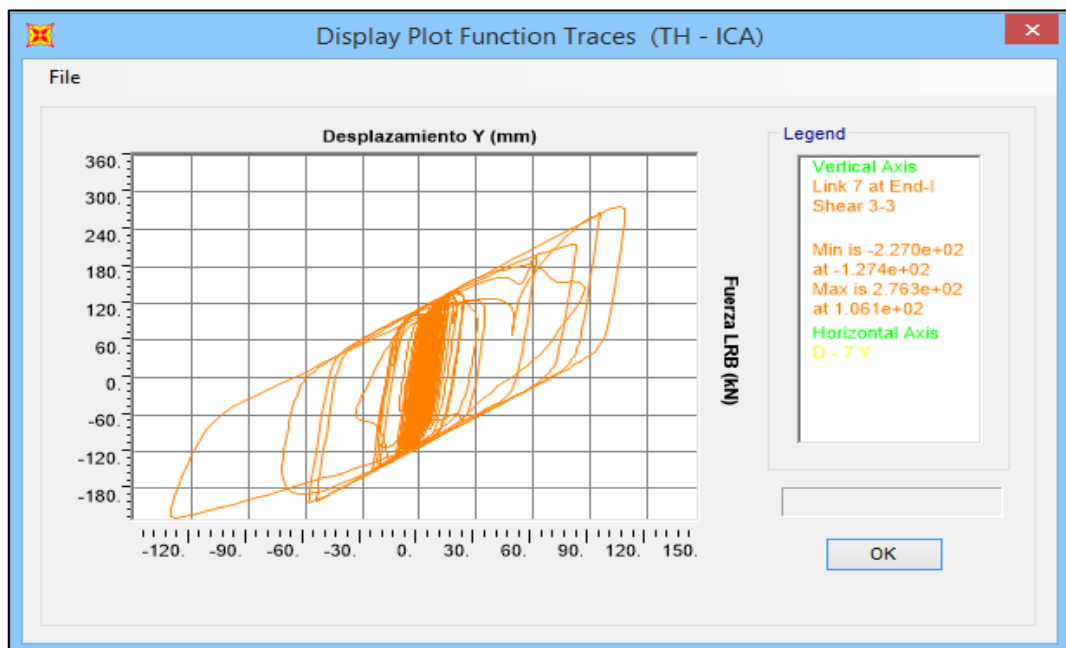
Fuente: Propia

Anexo N° 125 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “B – 7” para Ica (2007)



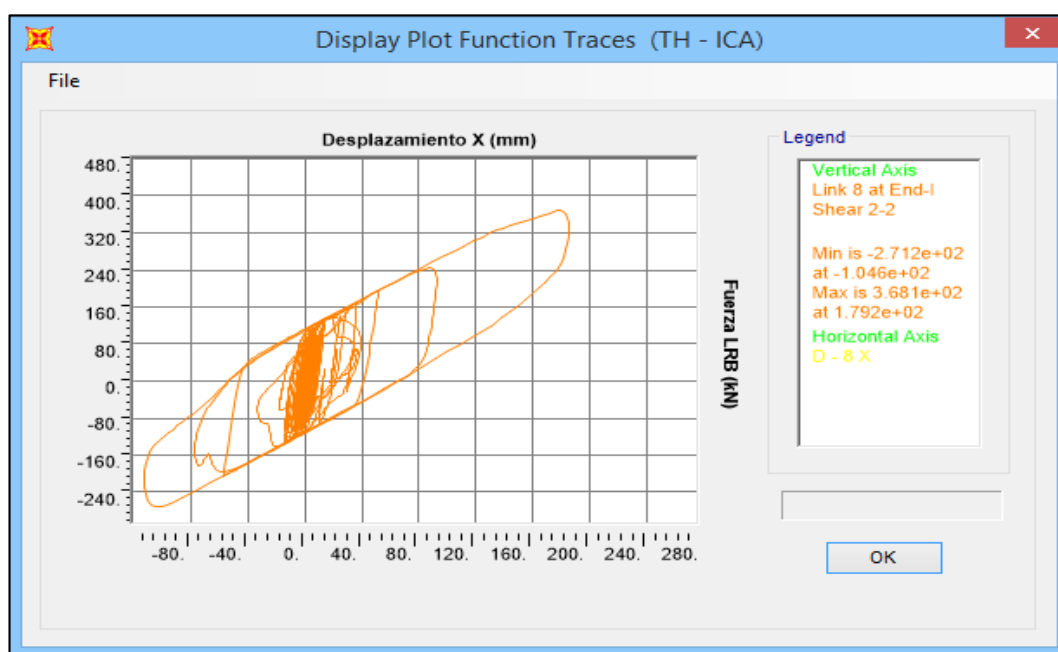
Fuente: Propia

Anexo N° 126 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “B – 7” para Ica (2007)



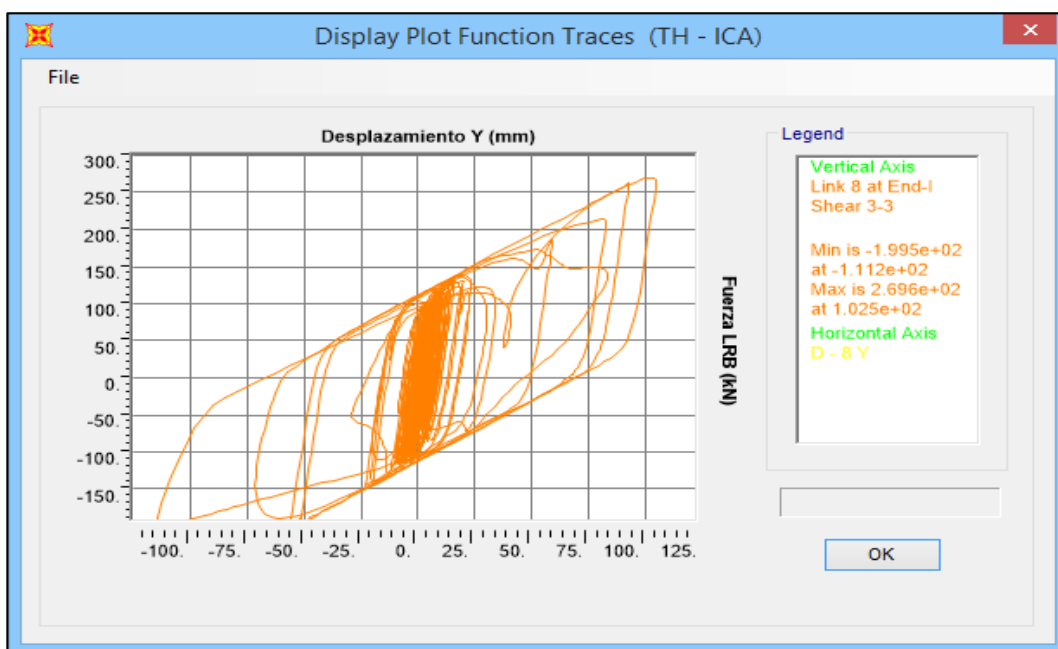
Fuente: Propia

Anexo N° 127 – Desplazamientos sentido X de LL0704G E en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

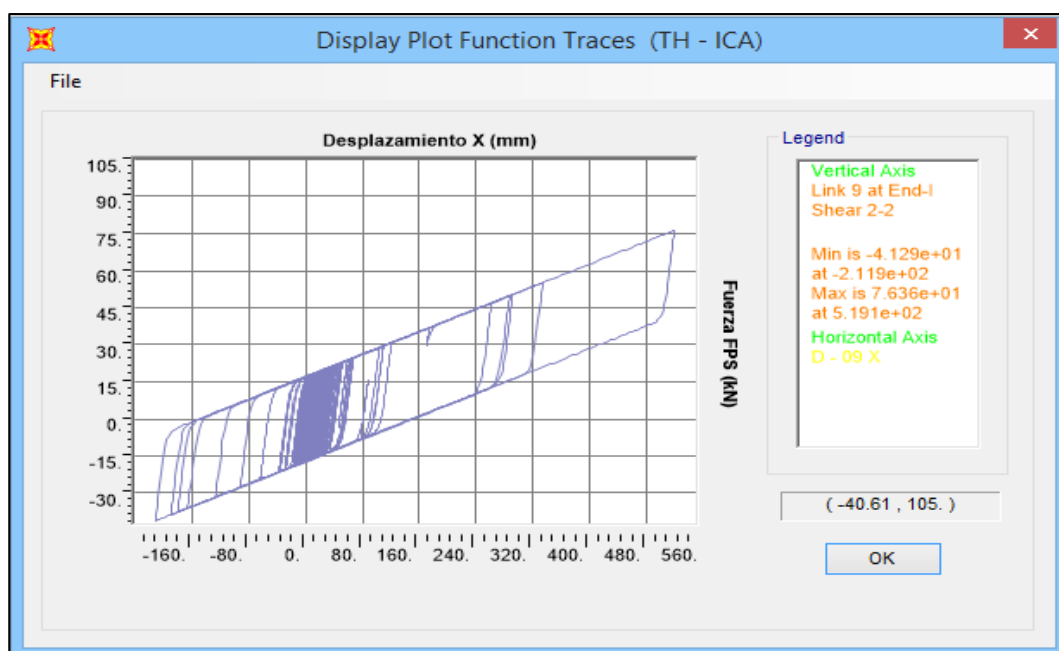
Anexo N° 128 – Desplazamientos sentido Y de LL0704G E en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

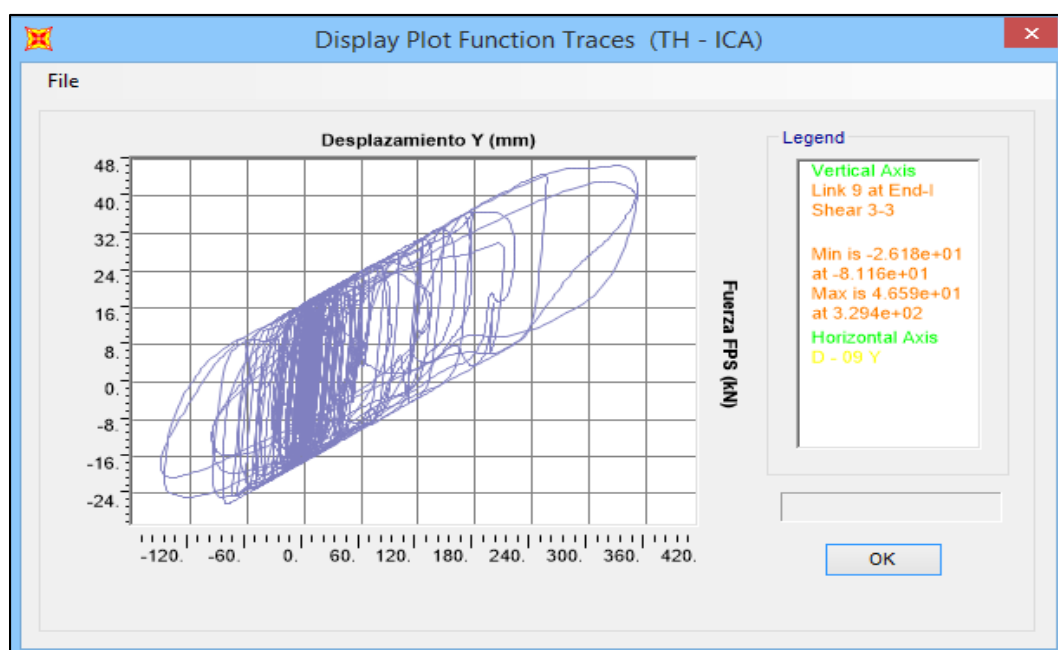
Comportamiento Histerético FPS en Límite Inferior

Anexo N° 129 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 1” para Ica (2007)



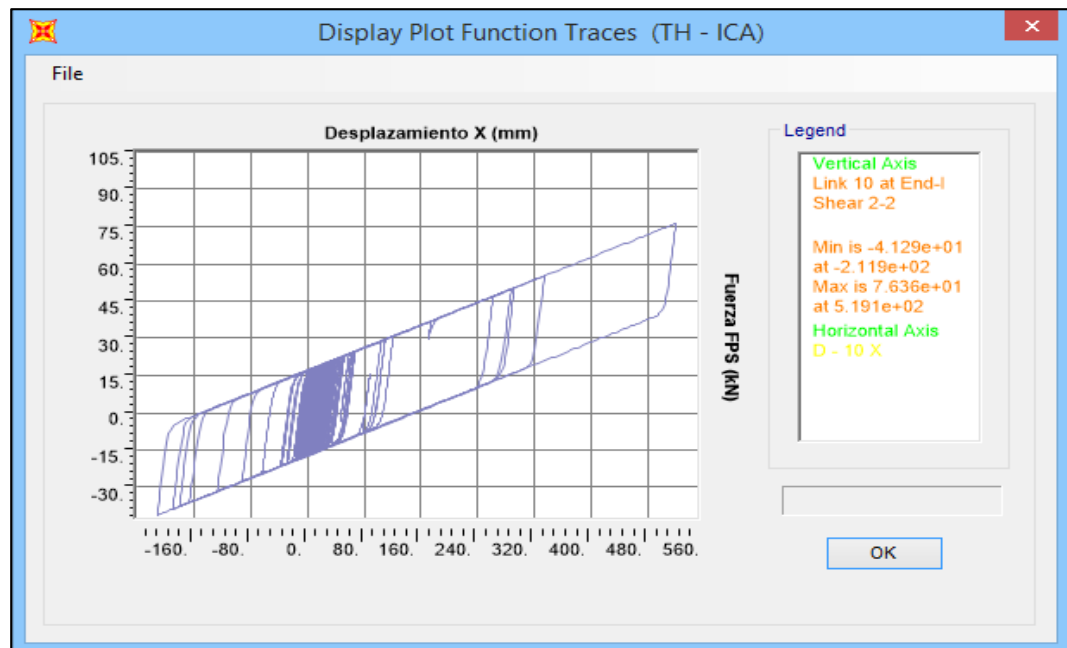
Fuente: Propia

Anexo N° 130 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 1” para Ica (2007)



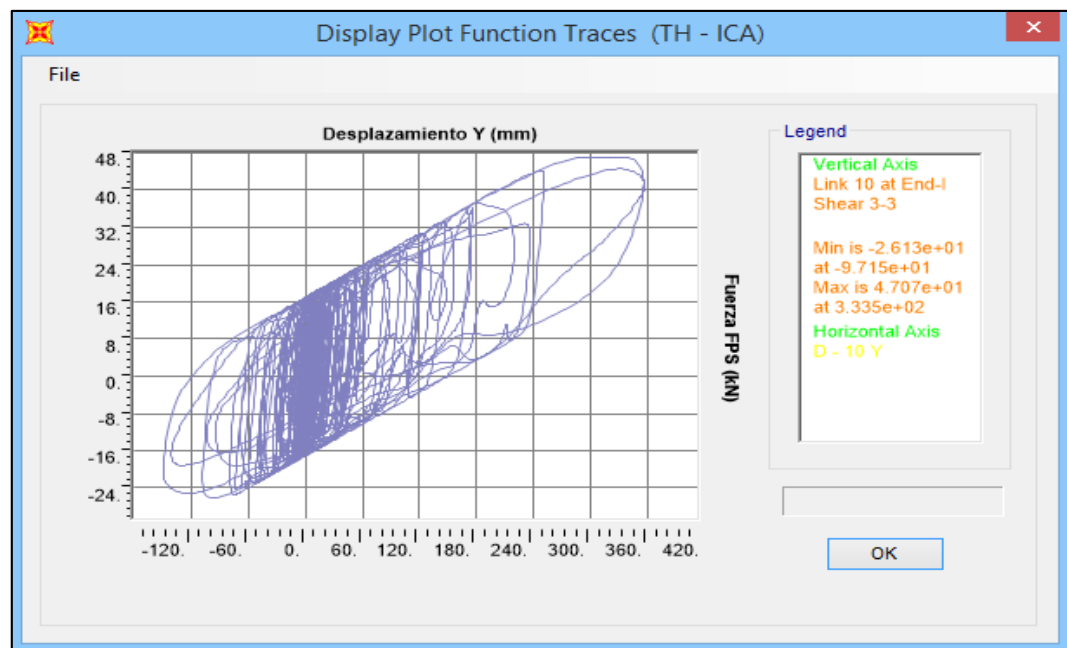
Fuente: Propia

Anexo N° 131 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “B – 1” para Ica (2007)



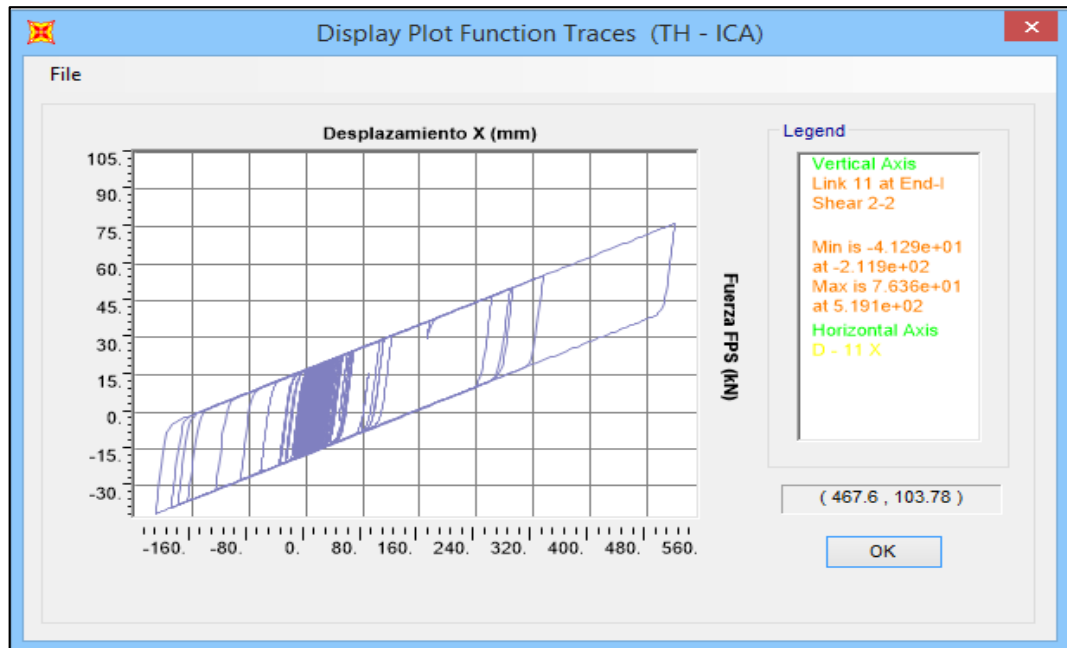
Fuente: Propia

Anexo N° 132 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “B – 1” para Ica (2007)



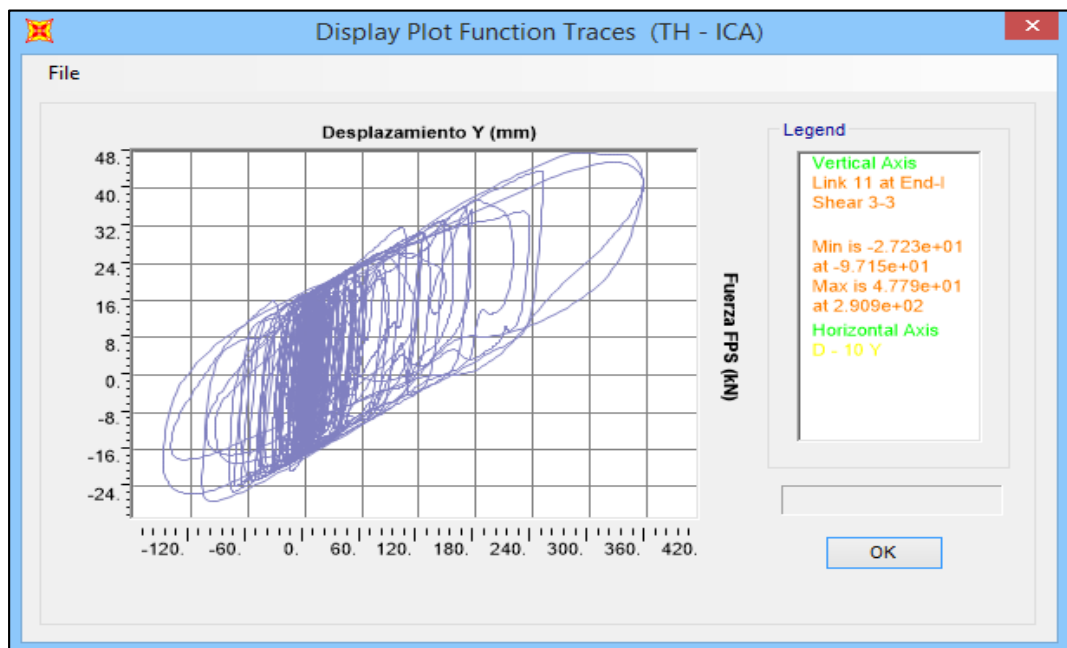
Fuente: Propia

Anexo N° 133 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 1” para Ica (2007)



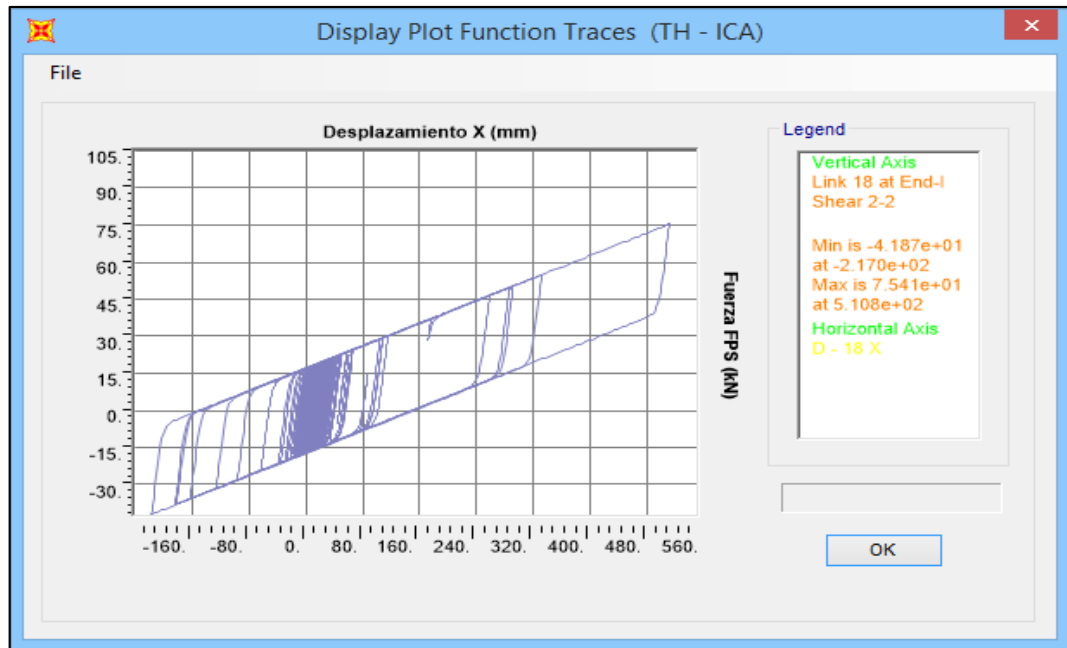
Fuente: Propia

Anexo N° 134 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 1” para Ica (2007)



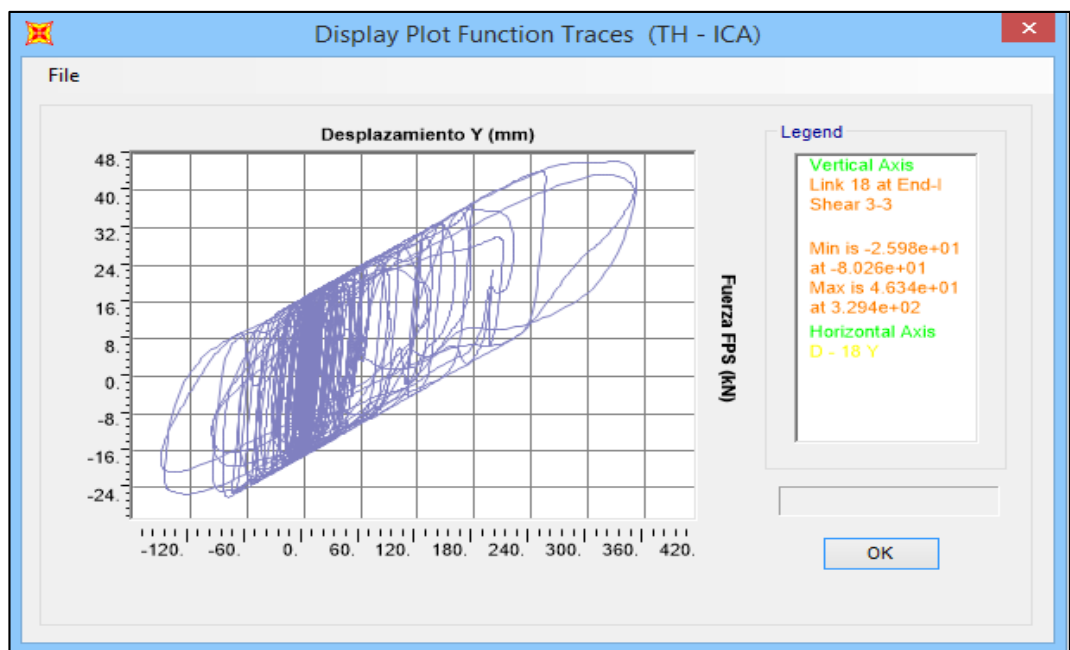
Fuente: Propia

Anexo N° 135 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 2” para Ica (2007)



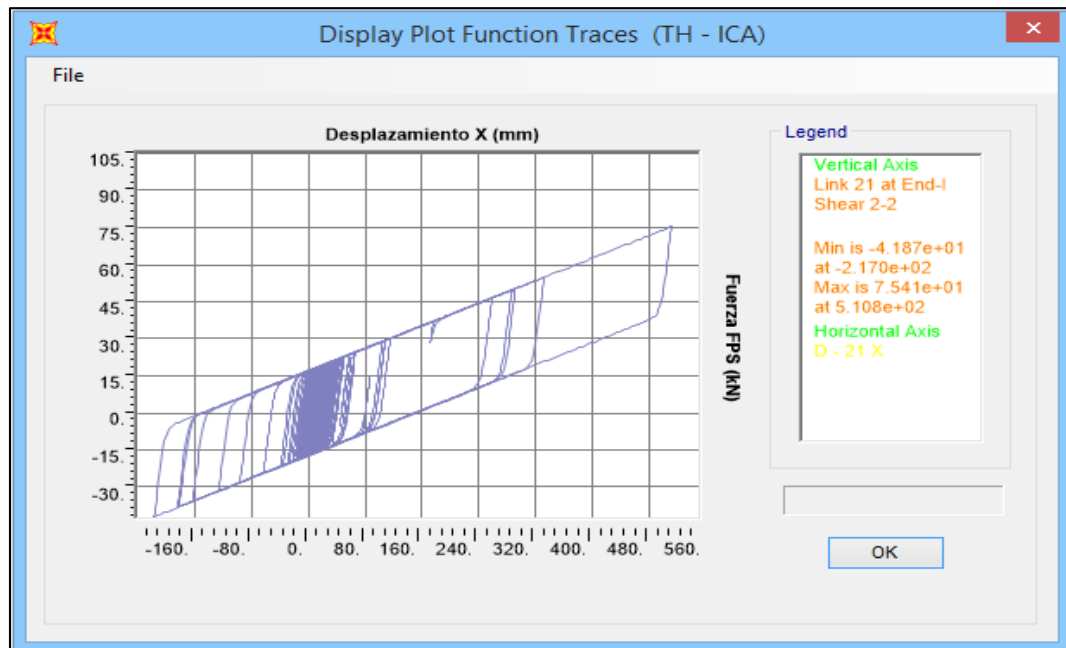
Fuente: Propia

Anexo N° 136 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 2” para Ica (2007)



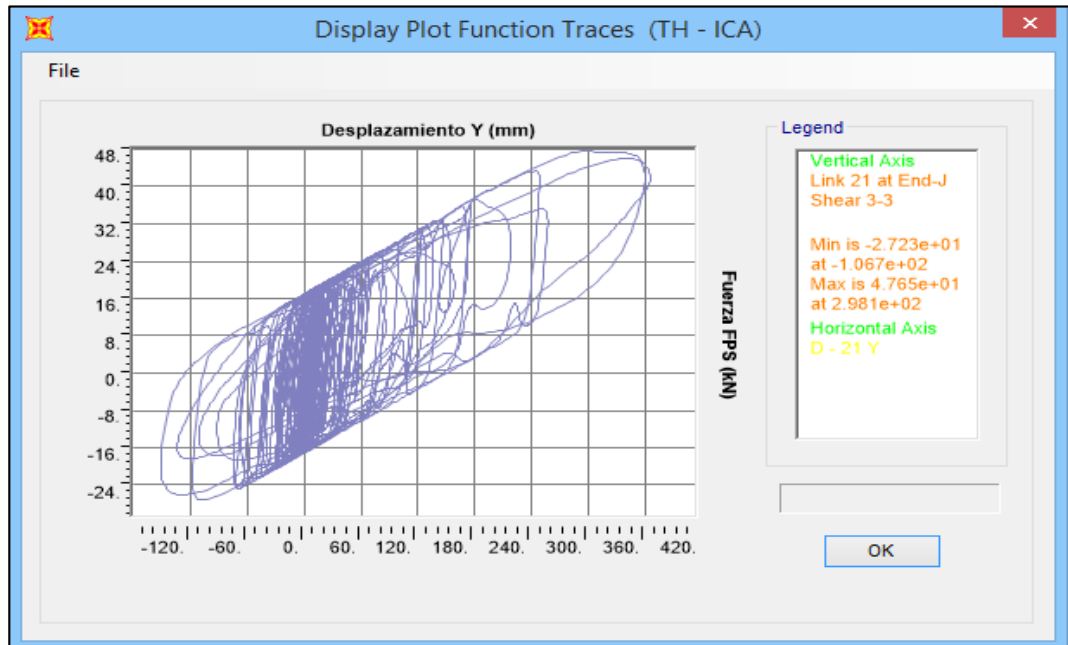
Fuente: Propia

Anexo N° 137 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 2” para Ica (2007)



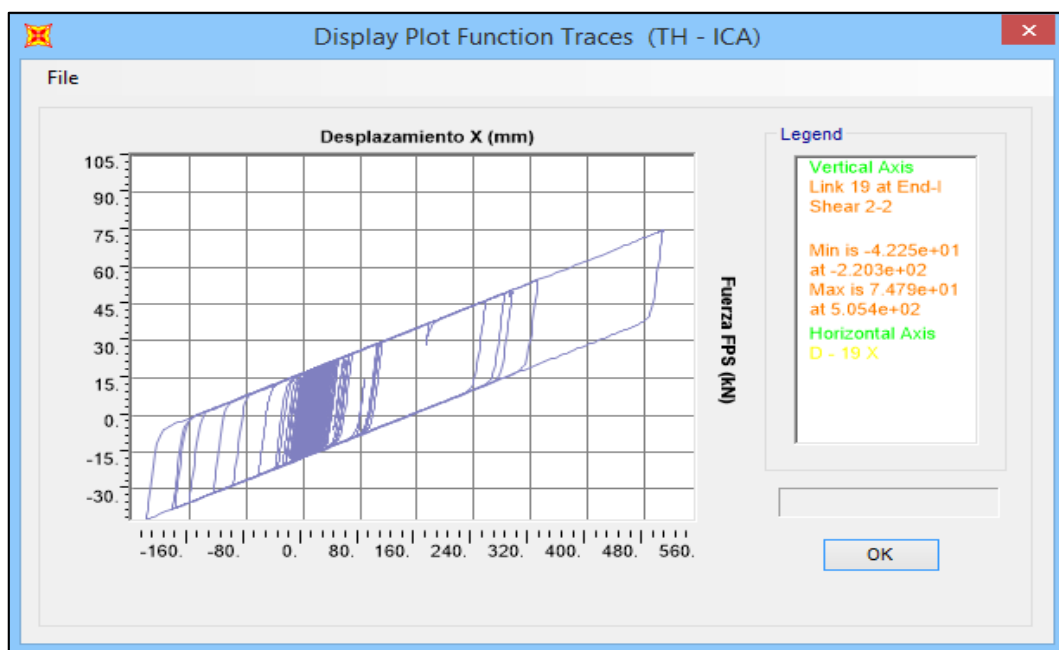
Fuente: Propia

Anexo N° 138 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 2” para Ica (2007)



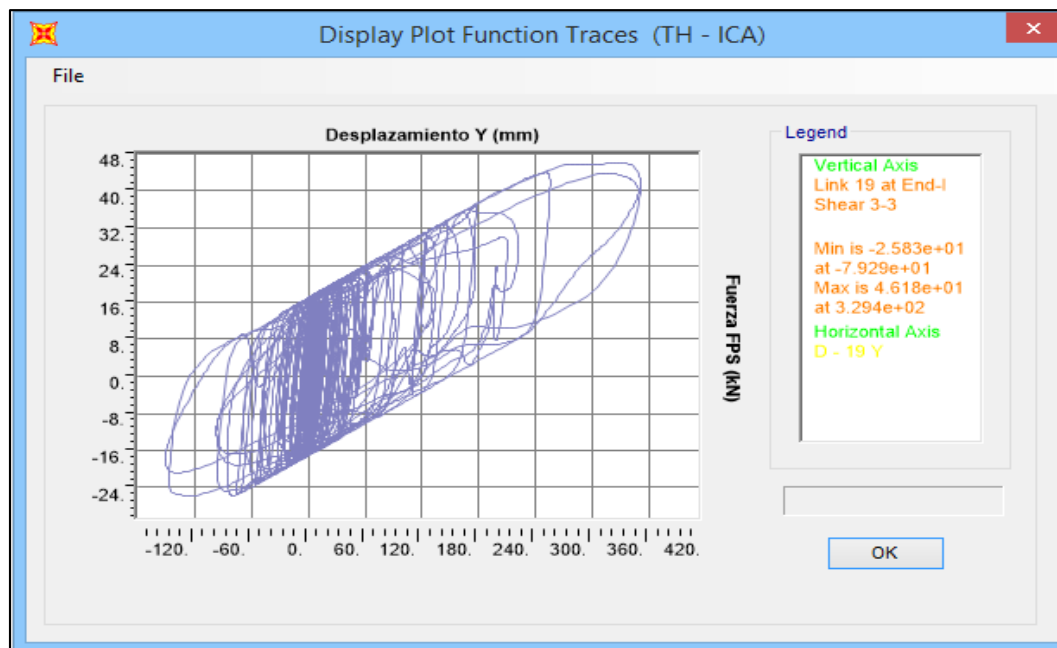
Fuente: Propia

Anexo N° 139 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 3” para Ica (2007)



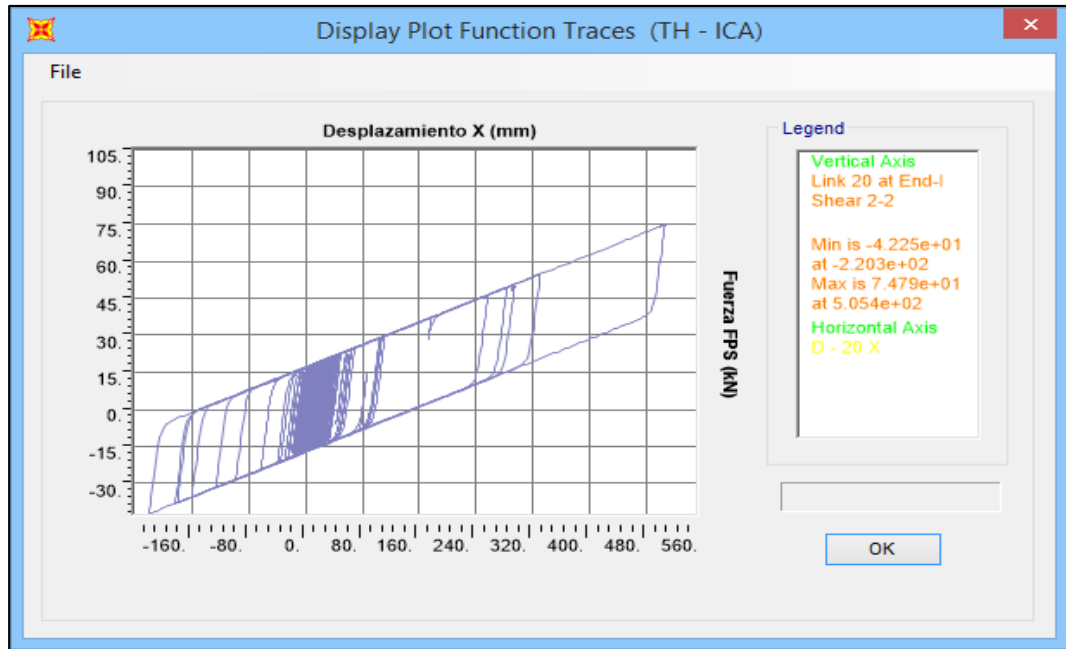
Fuente: Propia

Anexo N° 140 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 3” para Ica (2007)



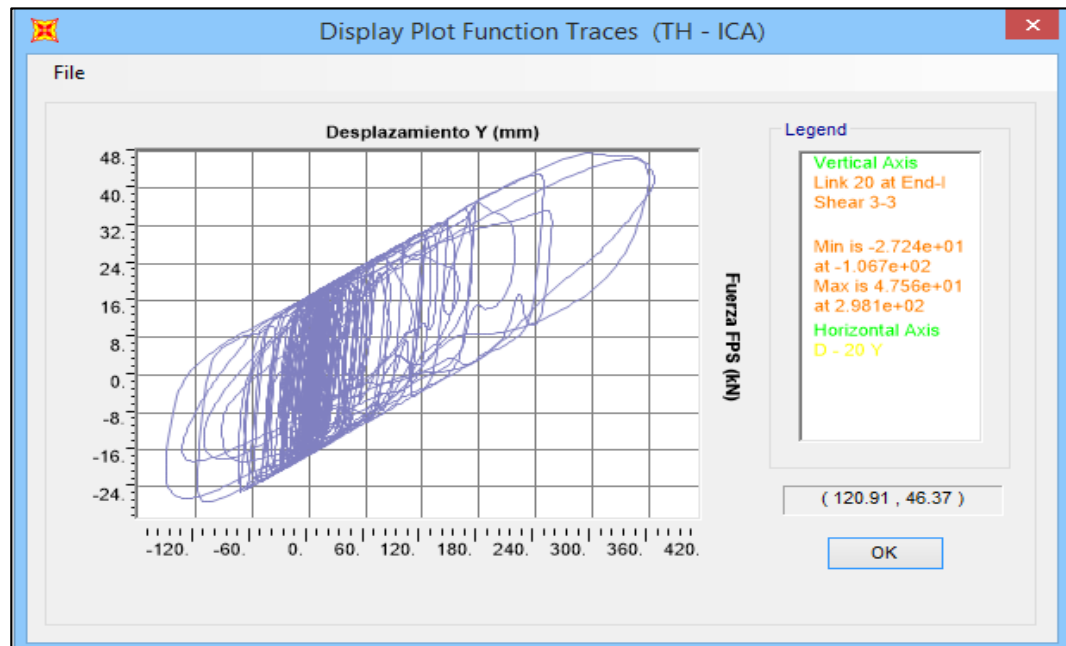
Fuente: Propia

Anexo N° 141 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 3” para Ica (2007)



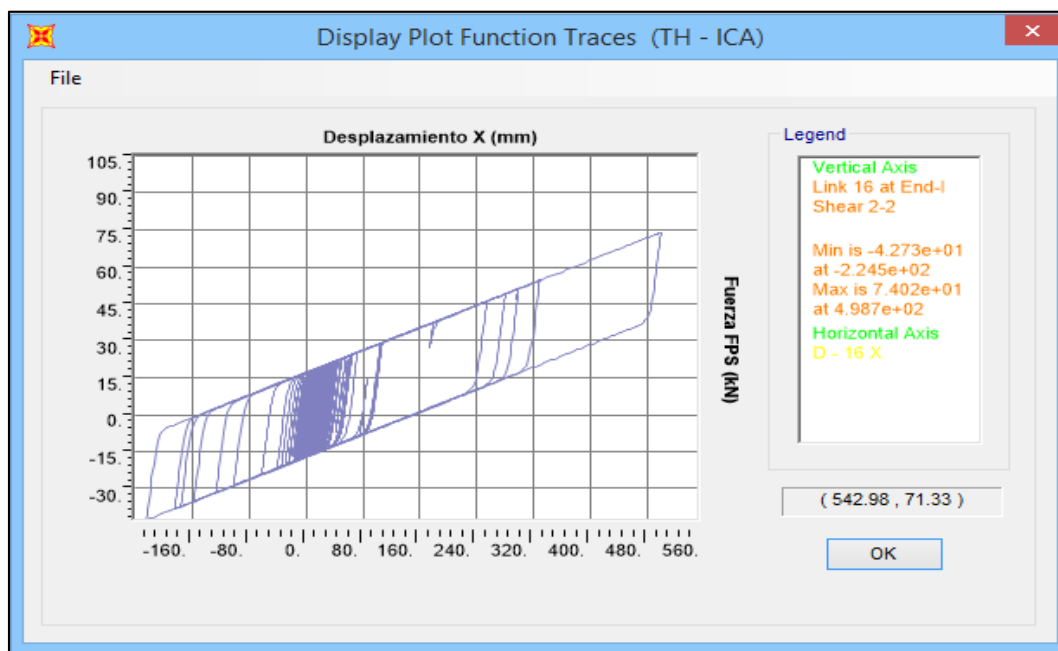
Fuente: Propia

Anexo N° 142 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 3” para Ica (2007)



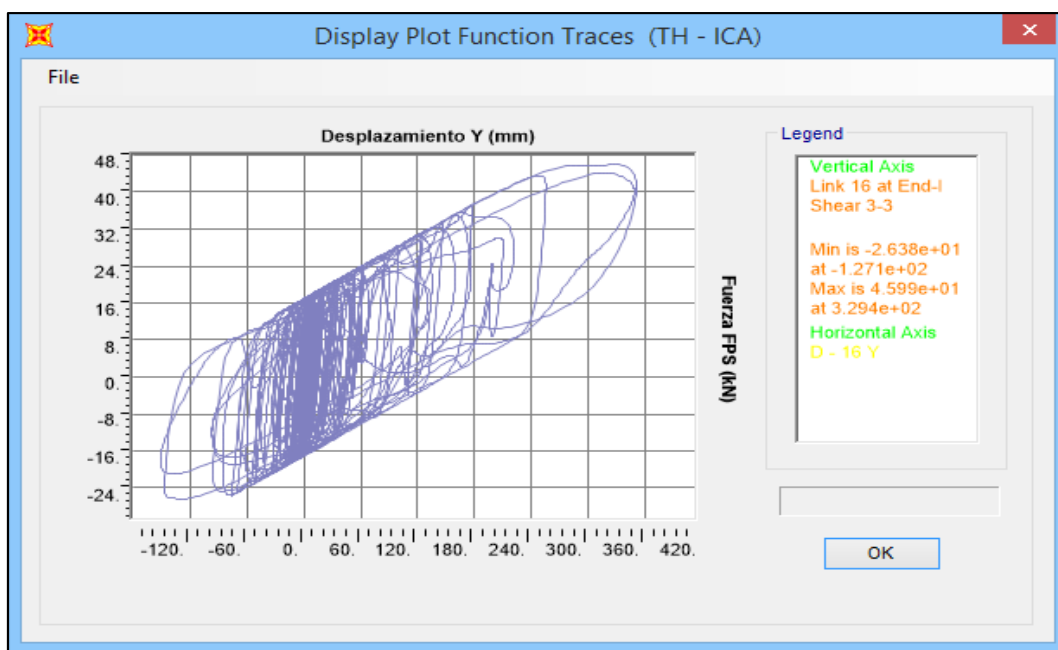
Fuente: Propia

Anexo N° 143 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 4” para Ica (2007)



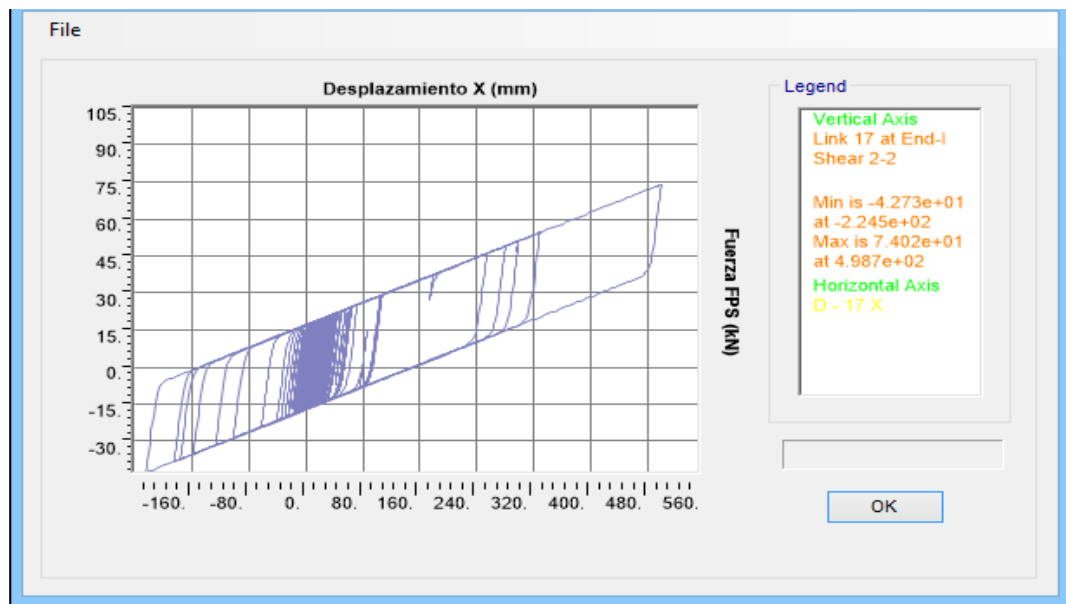
Fuente: Propia

Anexo N° 144 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 4” para Ica (2007)



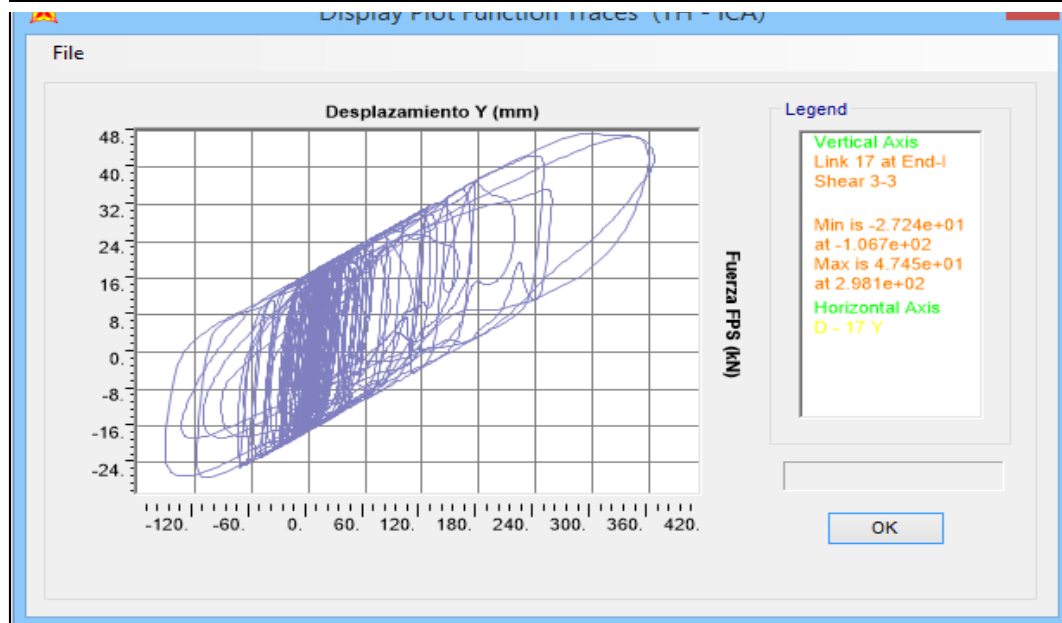
Fuente: Propia

Anexo N° 145 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 4” para Ica (2007)



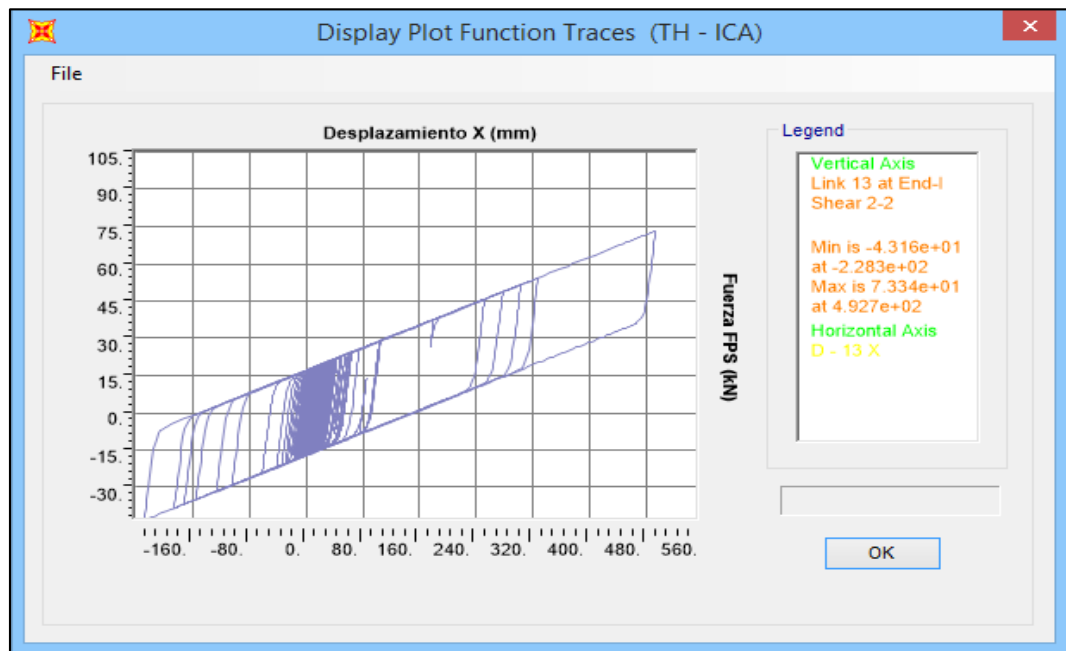
Fuente: Propia

Anexo N° 146 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 4” para Ica (2007)



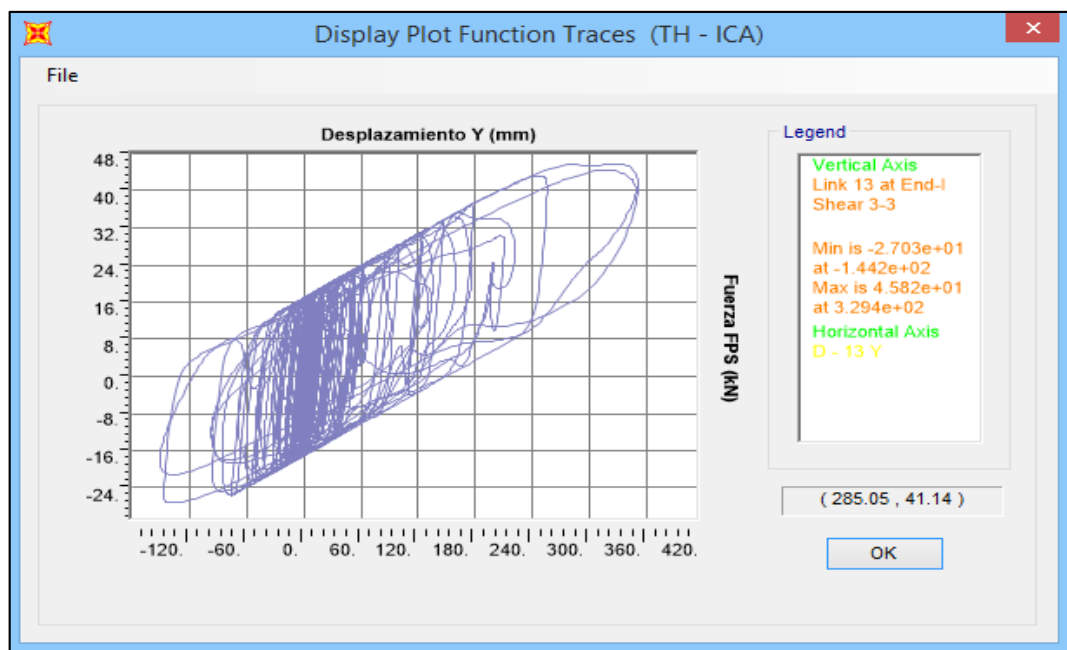
Fuente: Propia

Anexo N° 147 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 5” para Ica (2007)



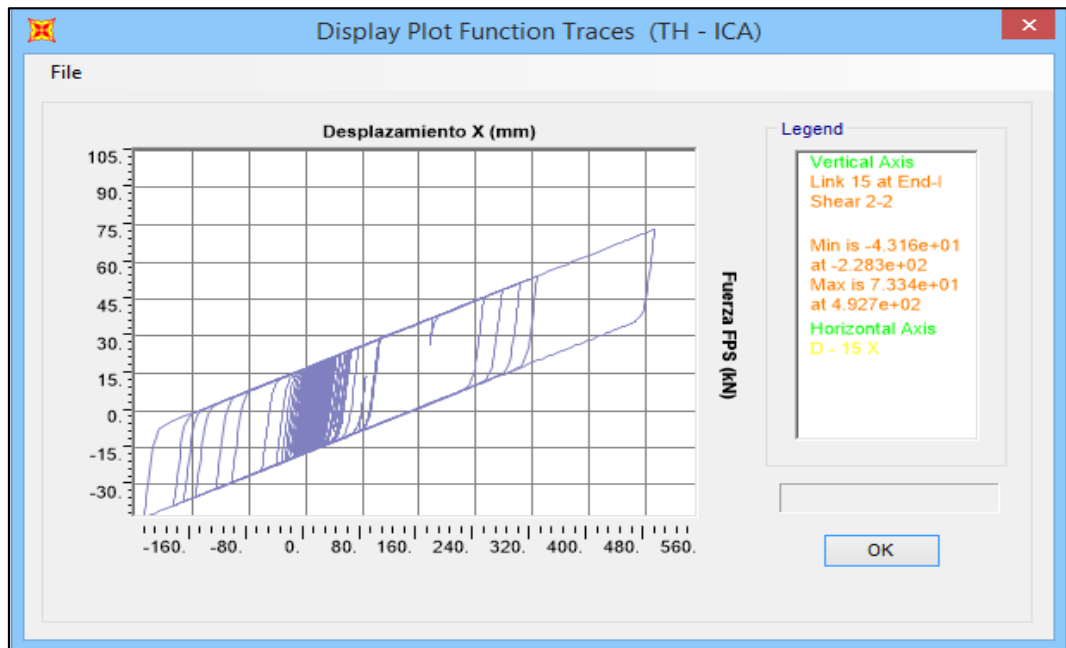
Fuente: Propia

Anexo N° 148 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 5” para Ica (2007)



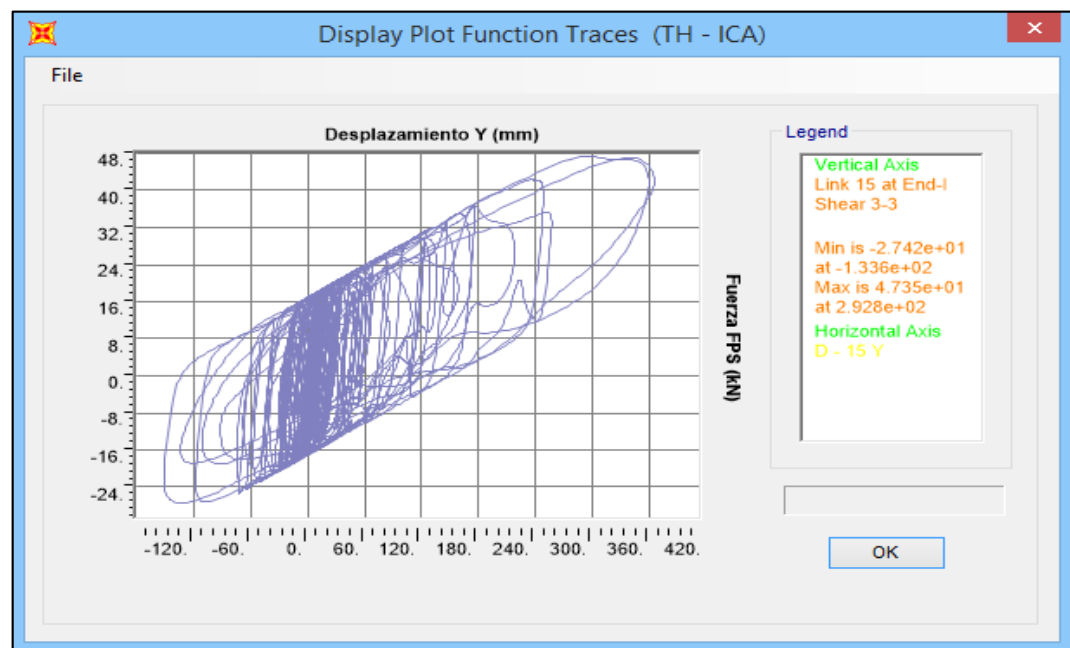
Fuente: Propia

Anexo N° 149 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 5” para Ica (2007)



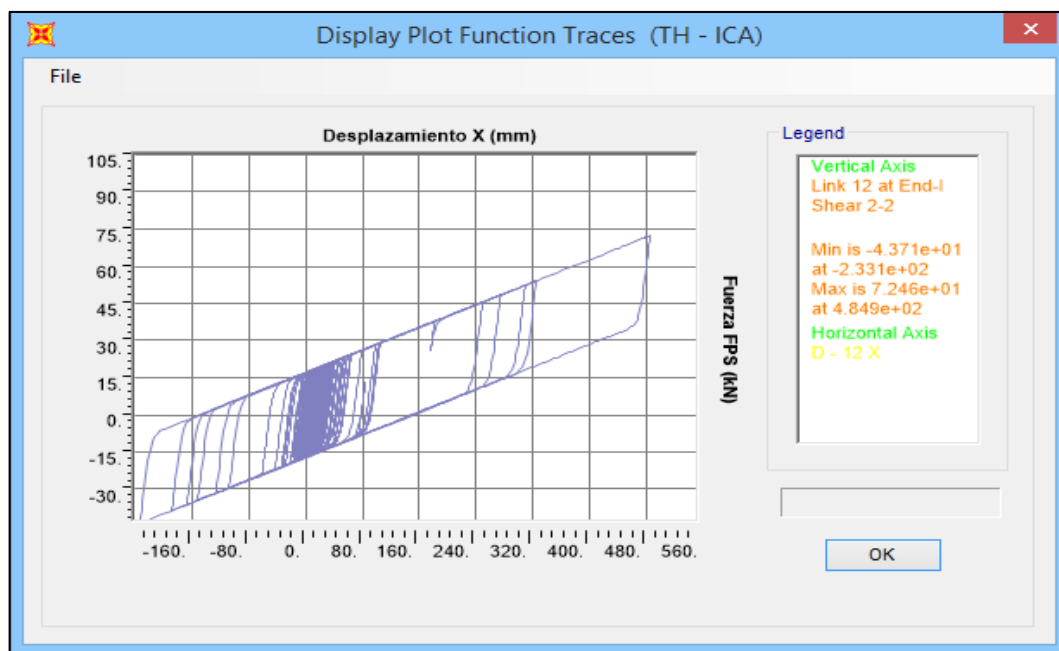
Fuente: Propia

Anexo N° 150 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 5” para Ica (2007)



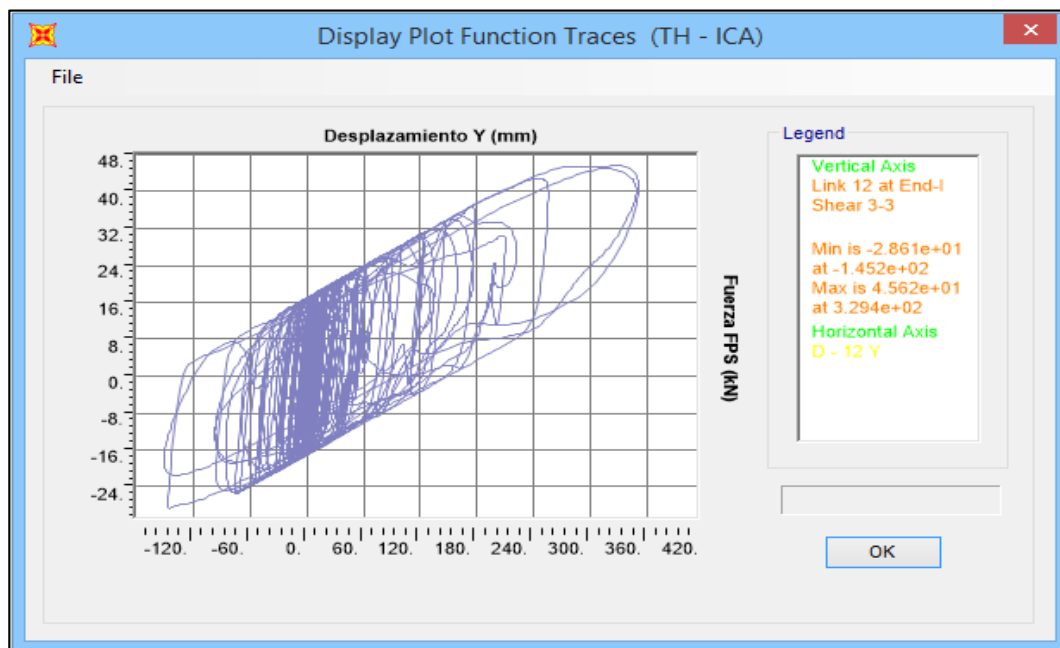
Fuente: Propia

Anexo N° 151 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 6” para Ica (2007)



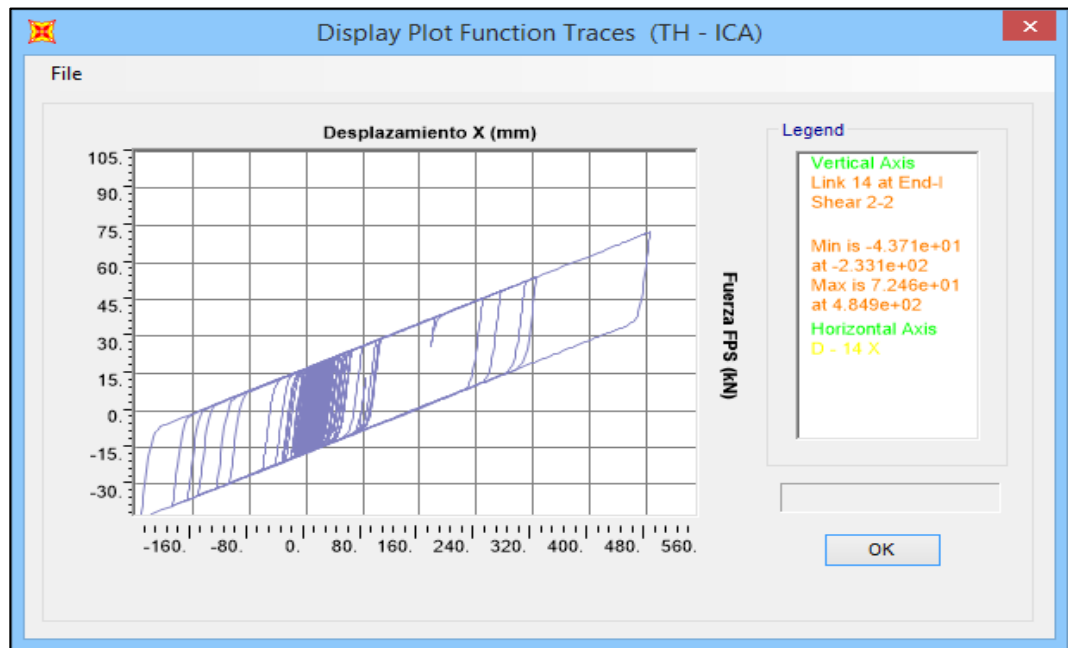
Fuente: Propia

Anexo N° 152 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 6” para Ica (2007)



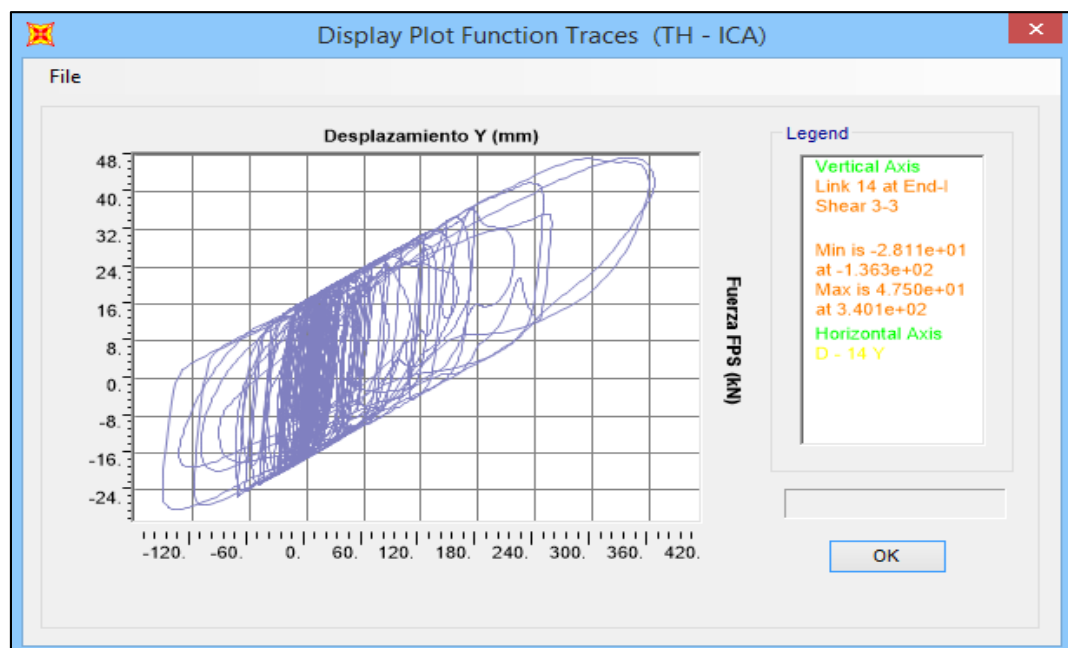
Fuente: Propia

Anexo N° 153 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 6” para Ica (2007)



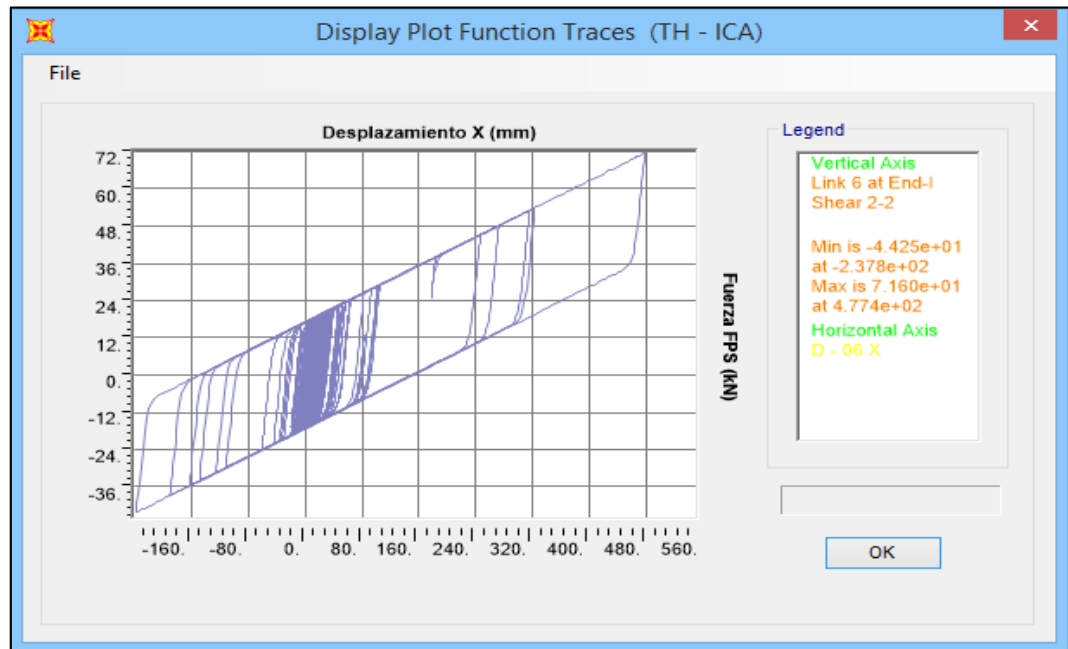
Fuente: Propia

Anexo N° 154 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 6” para Ica (2007)



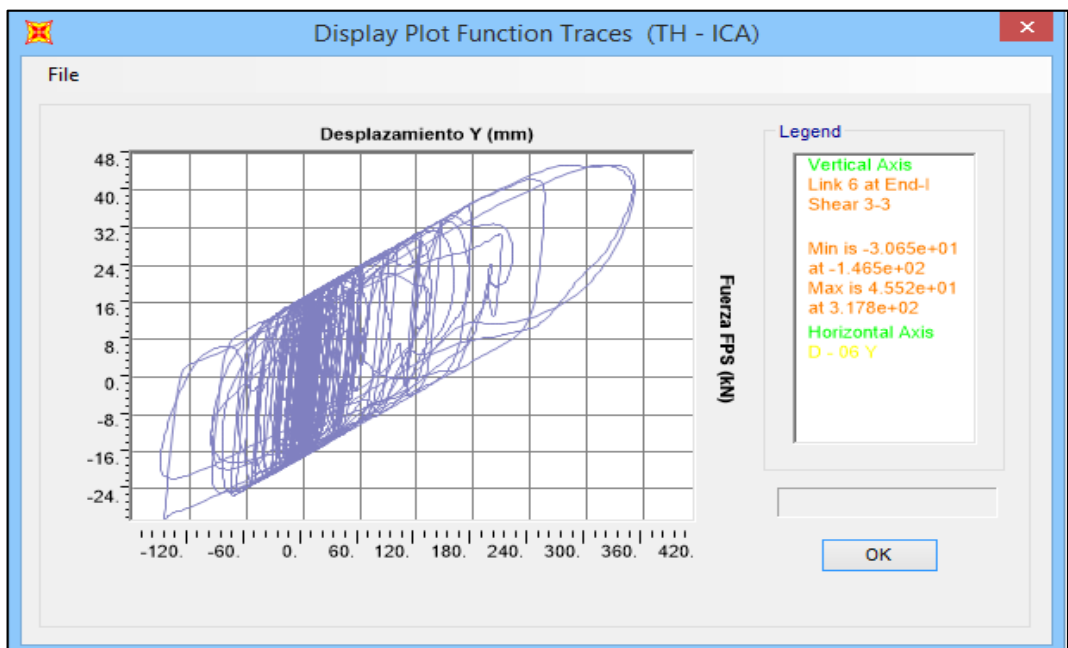
Fuente: Propia

Anexo N° 155 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 7” para Ica (2007)



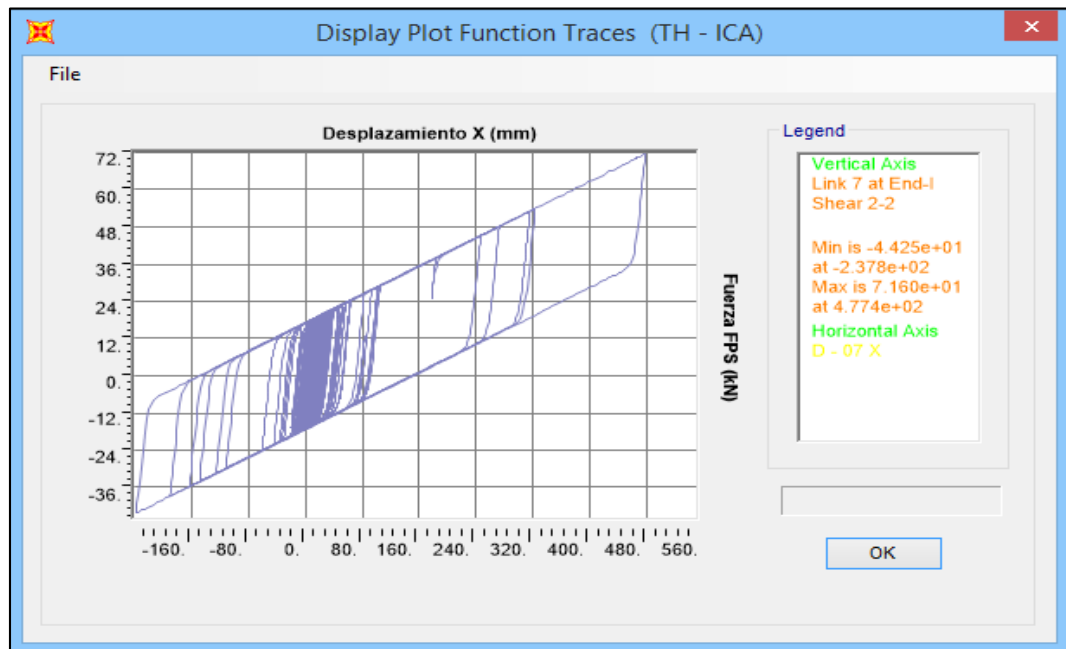
Fuente: Propia

Anexo N° 156 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 7” para Ica (2007)



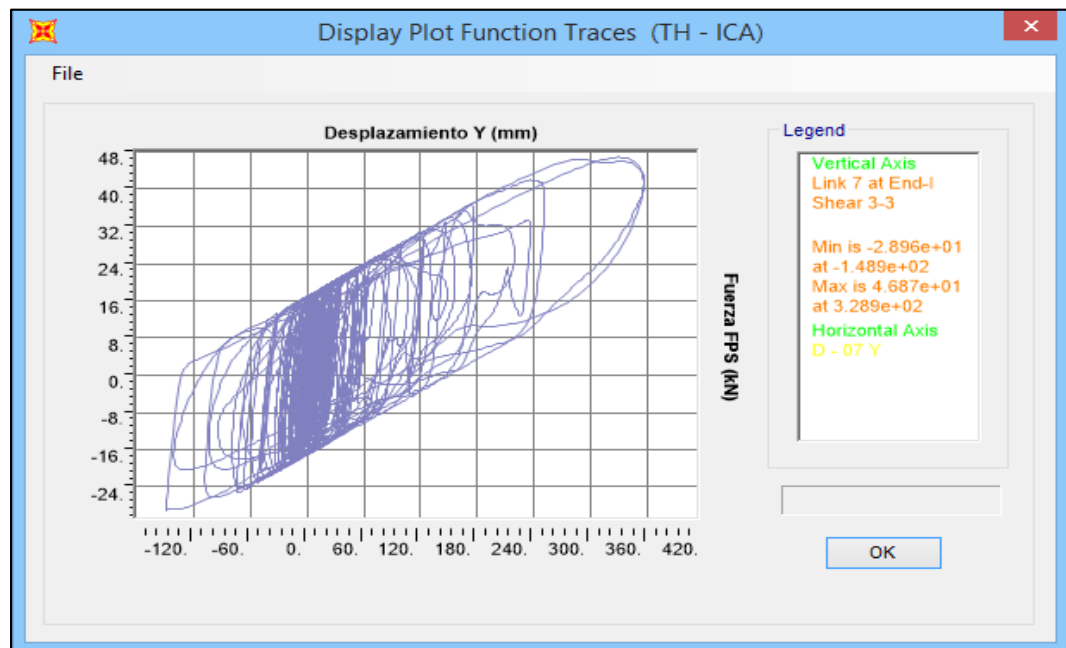
Fuente: Propia

Anexo N° 157 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “B – 7” para Ica (2007)



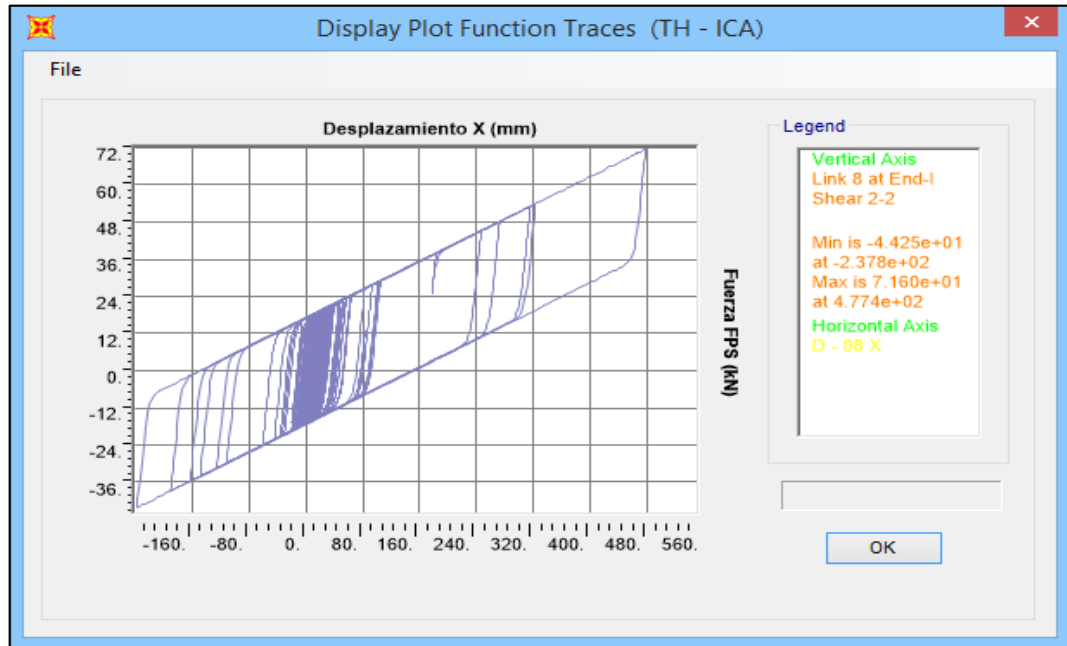
Fuente: Propia

Anexo N° 158 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “B – 7” para Ica (2007)



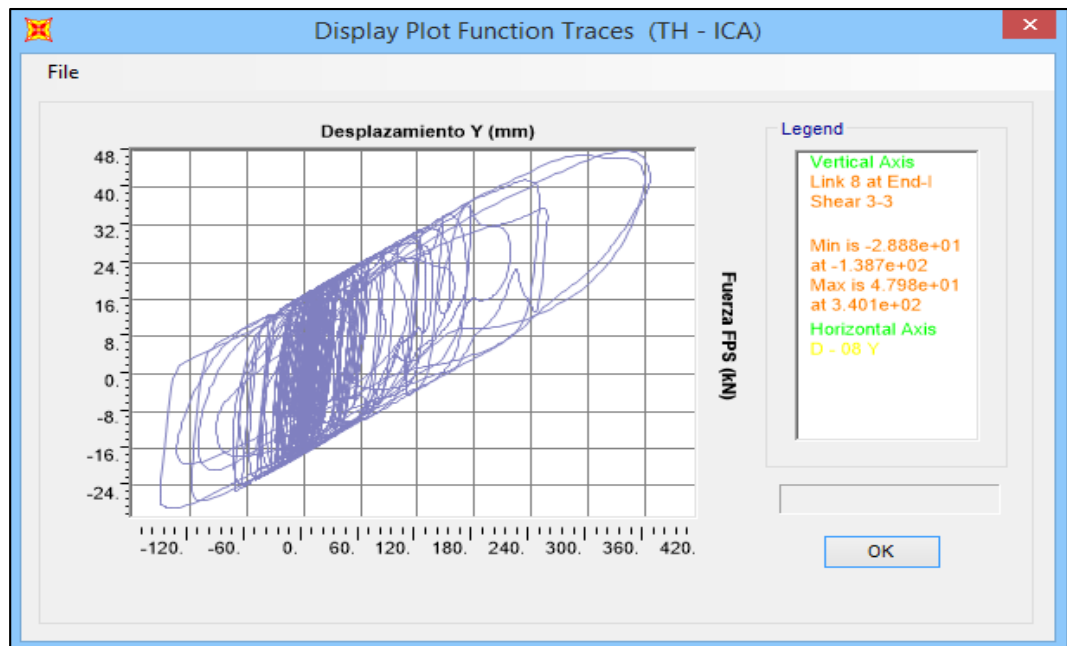
Fuente: Propia

Anexo N° 159 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

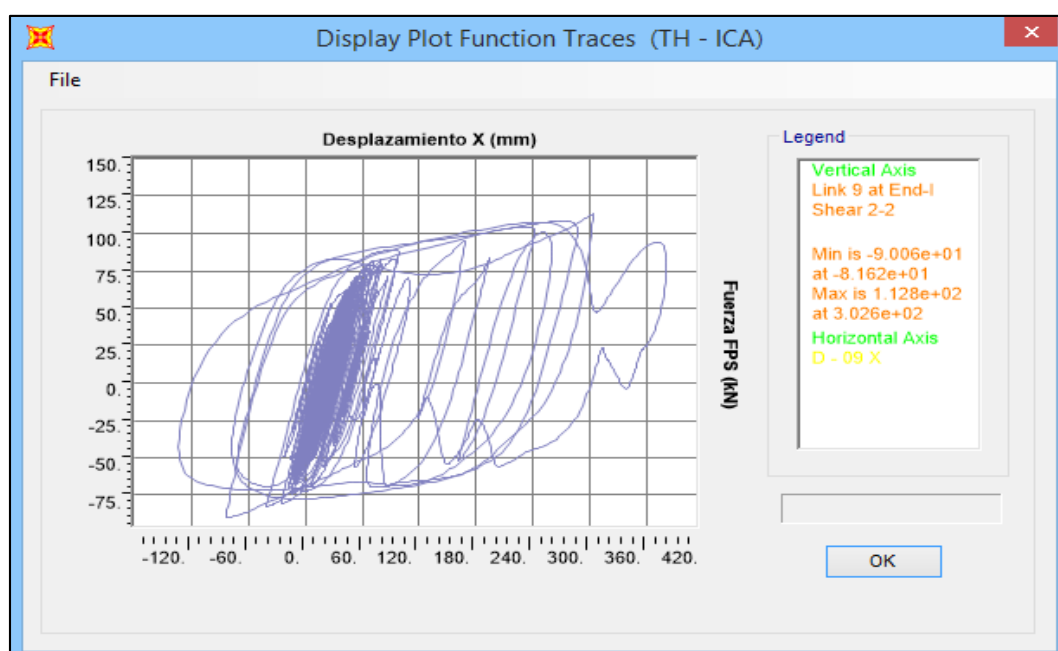
Anexo N° 160 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

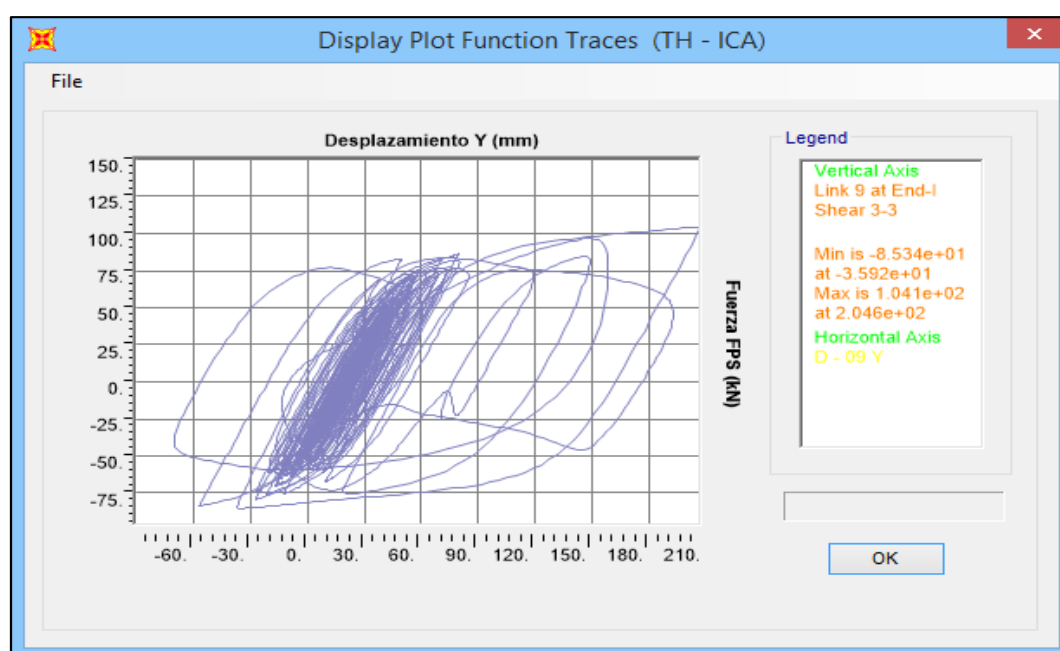
Comportamiento Histerético HDRB en Límite Superior

Anexo N° 161 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 1” para Ica (2007)



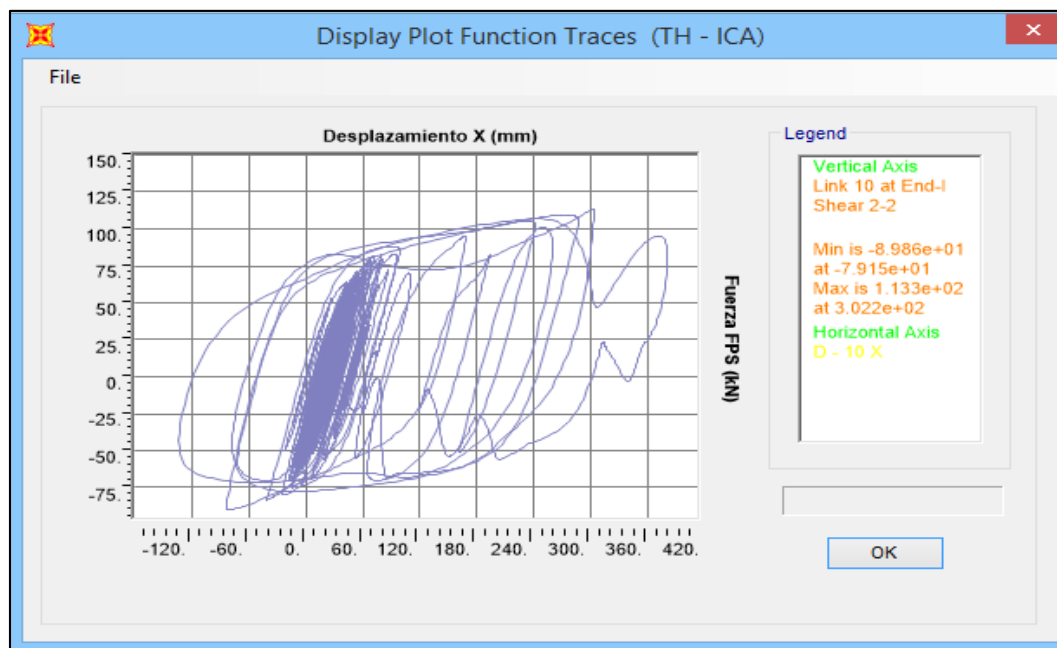
Fuente: Propia

Anexo N° 162 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 1” para Ica (2007)



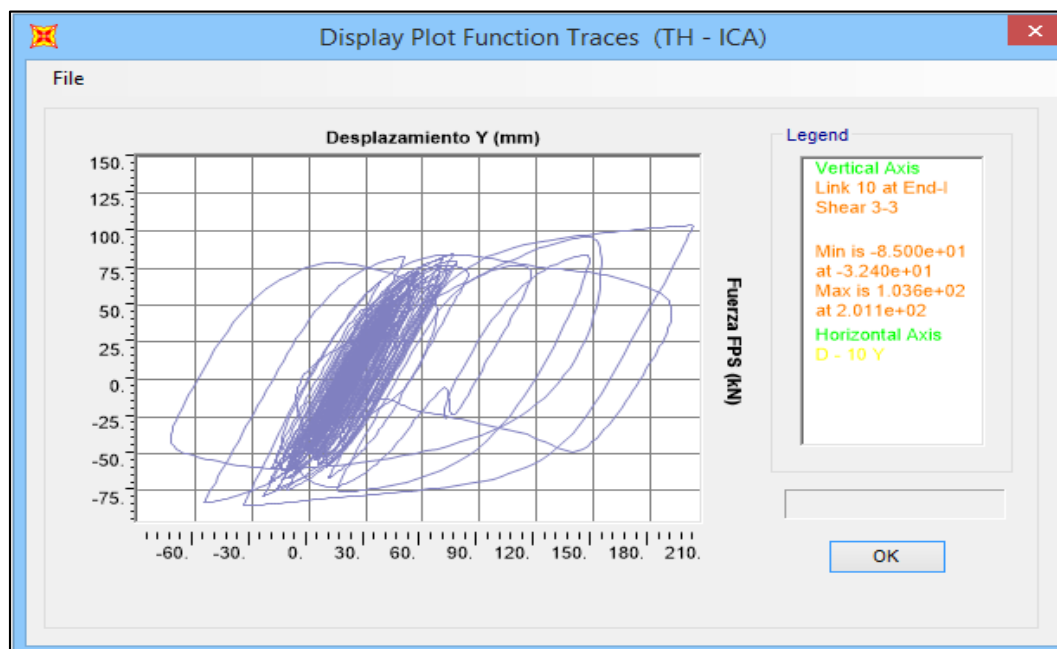
Fuente: Propia

Anexo N° 163 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “B – 1” para Ica (2007)



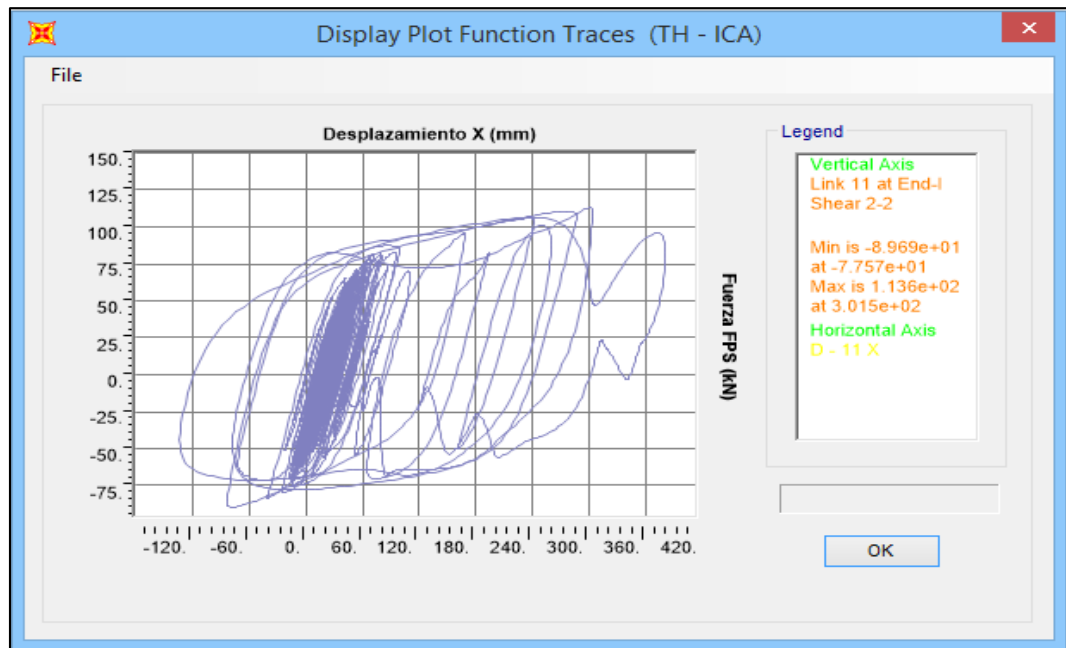
Fuente: Propia

Anexo N° 164 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “B – 1” para Ica (2007)



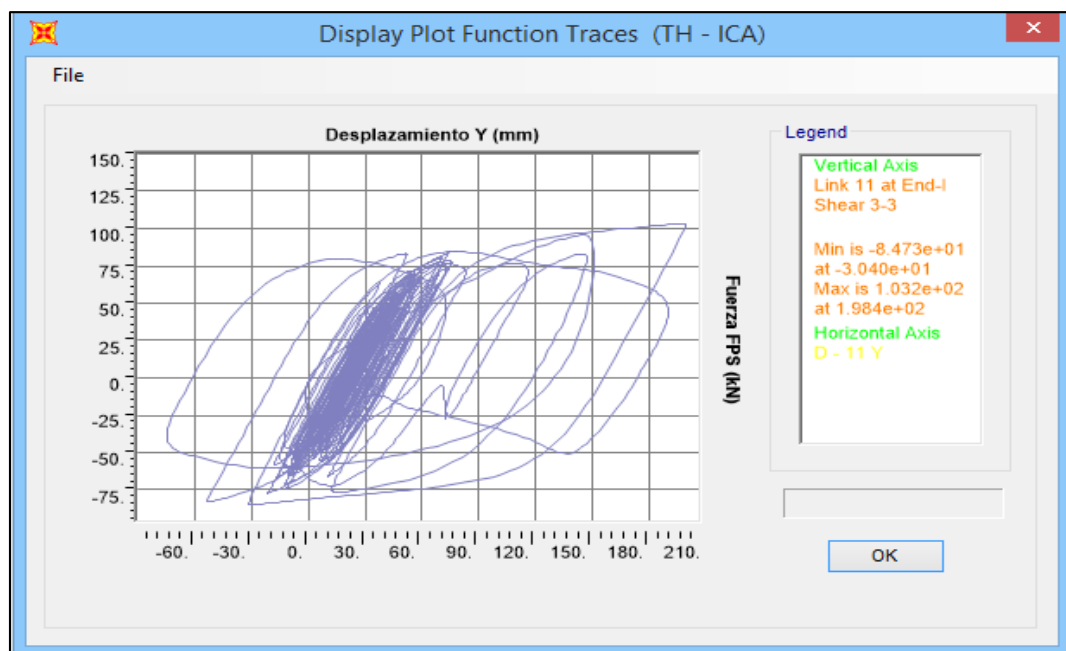
Fuente: Propia

Anexo N° 165 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 1” para Ica (2007)



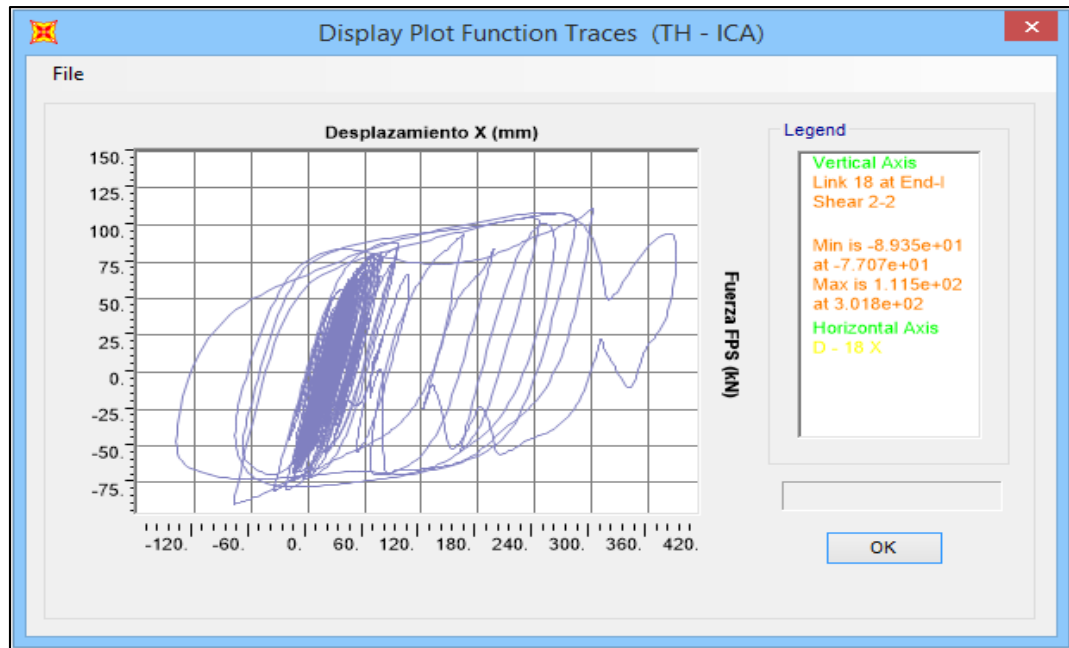
Fuente: Propia

Anexo N° 166 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 1” para Ica (2007)



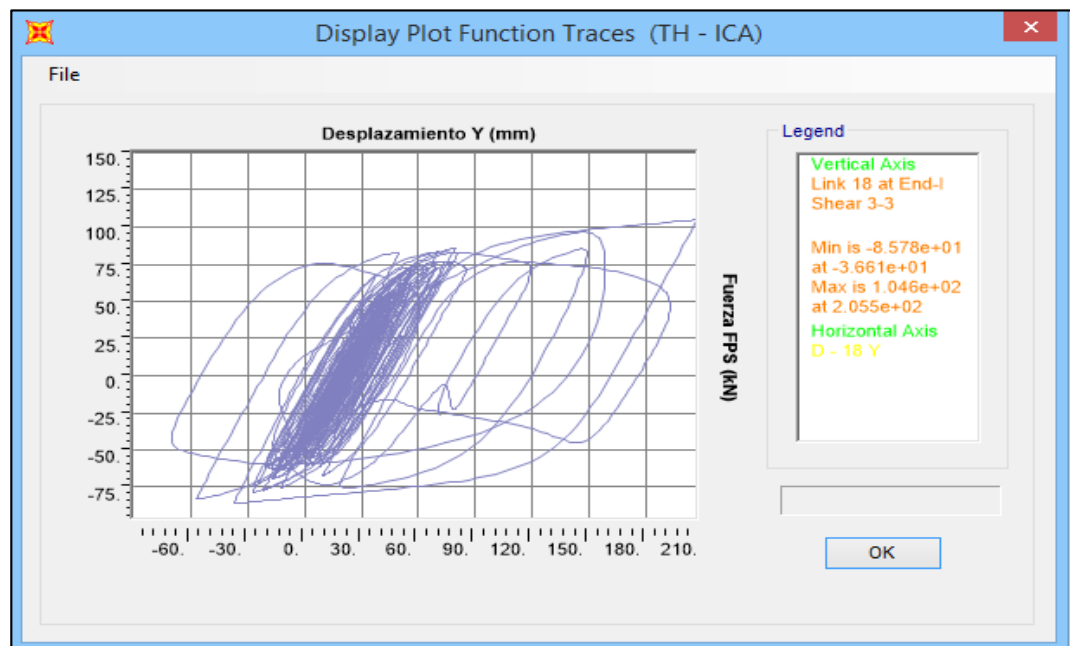
Fuente: Propia

Anexo N° 167 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 2” para Ica (2007)



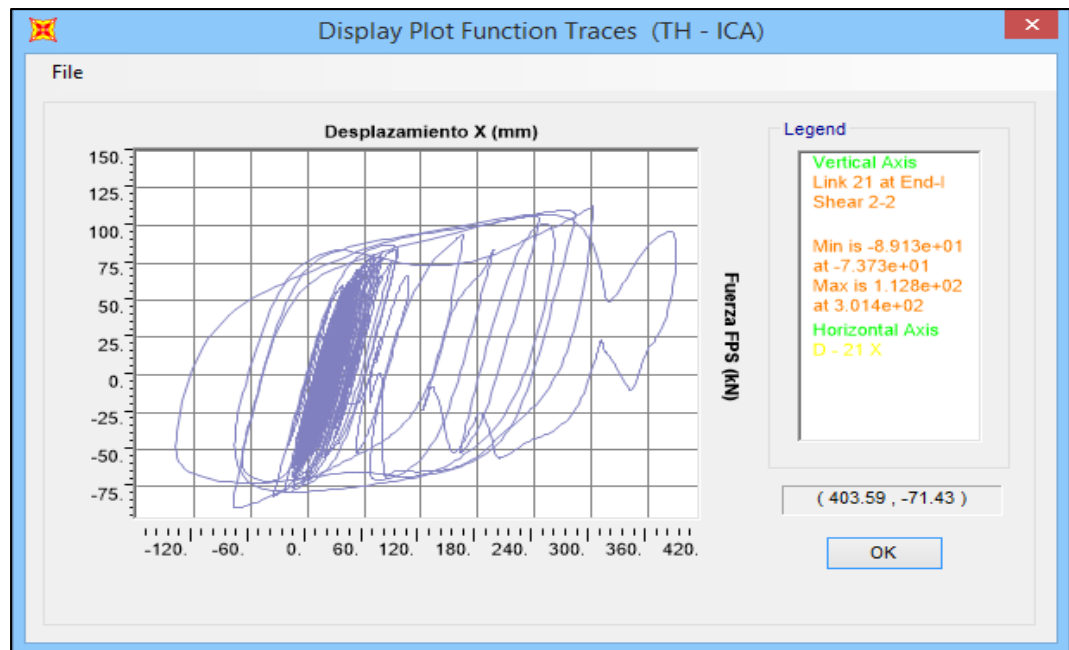
Fuente: Propia

Anexo N° 168 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 2” para Ica (2007)



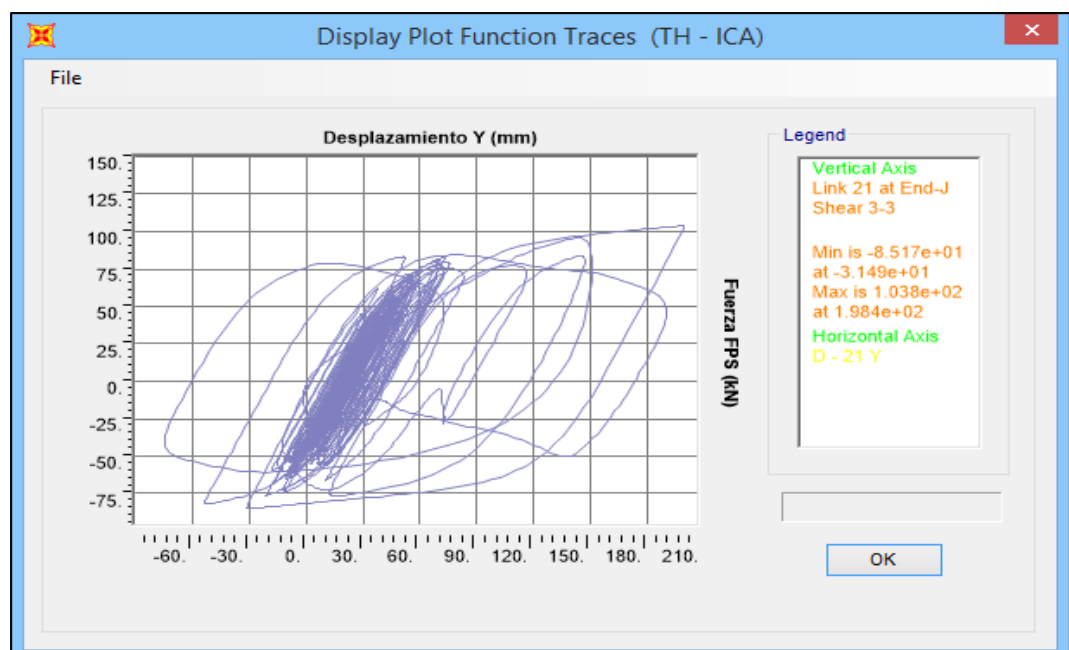
Fuente: Propia

Anexo N° 169 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 2” para Ica (2007)



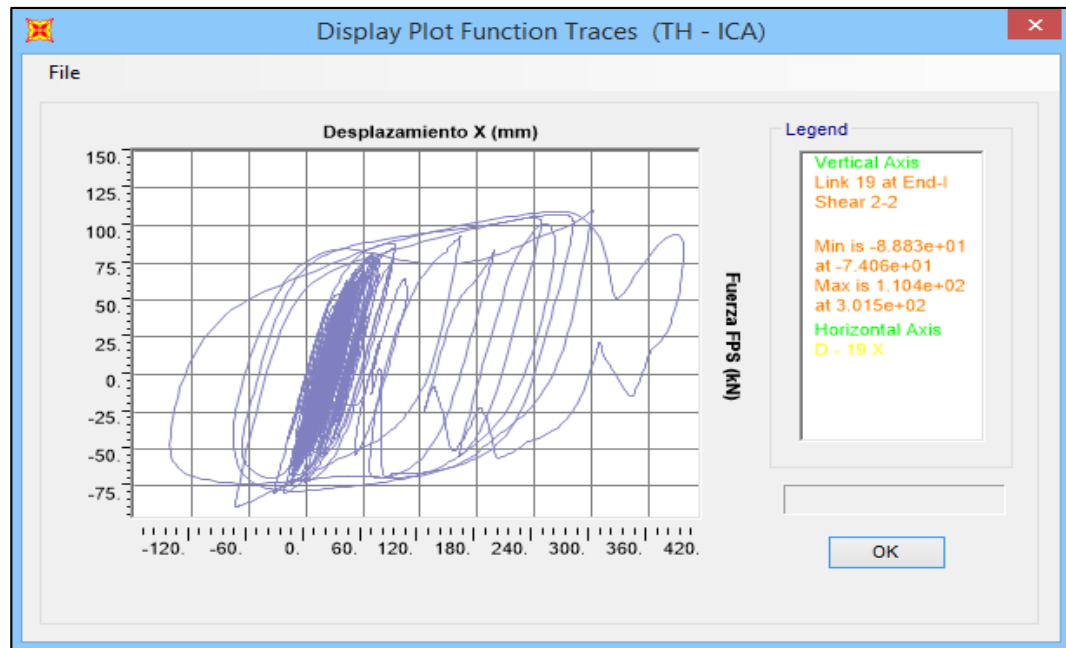
Fuente: Propia

Anexo N° 170 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 2” para Ica (2007)



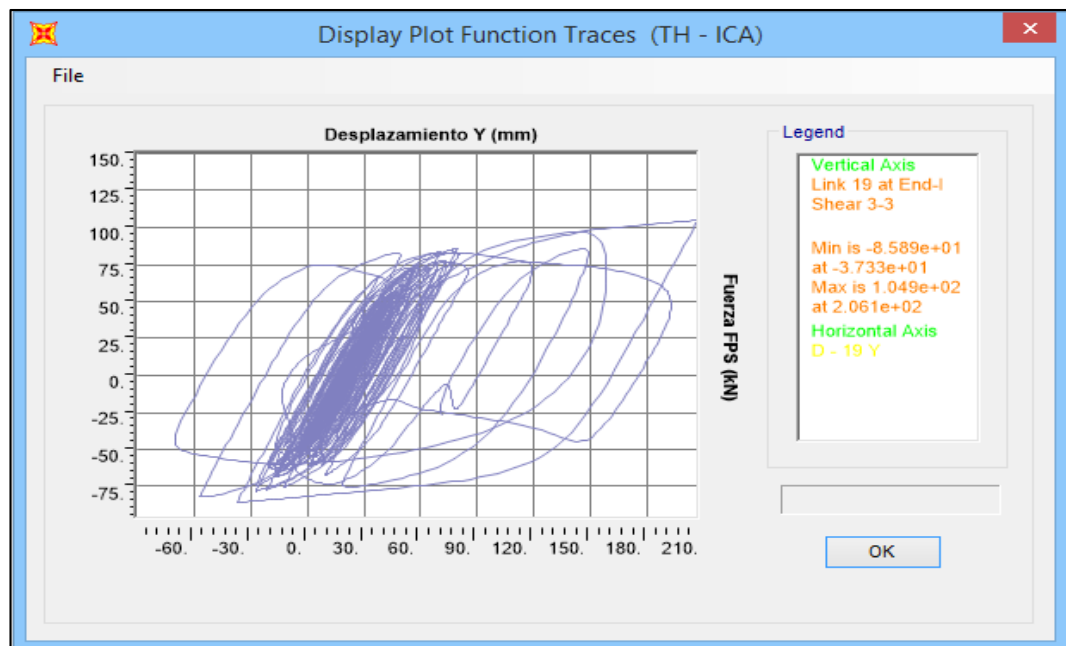
Fuente: Propia

Anexo N° 171 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 3” para Ica (2007)



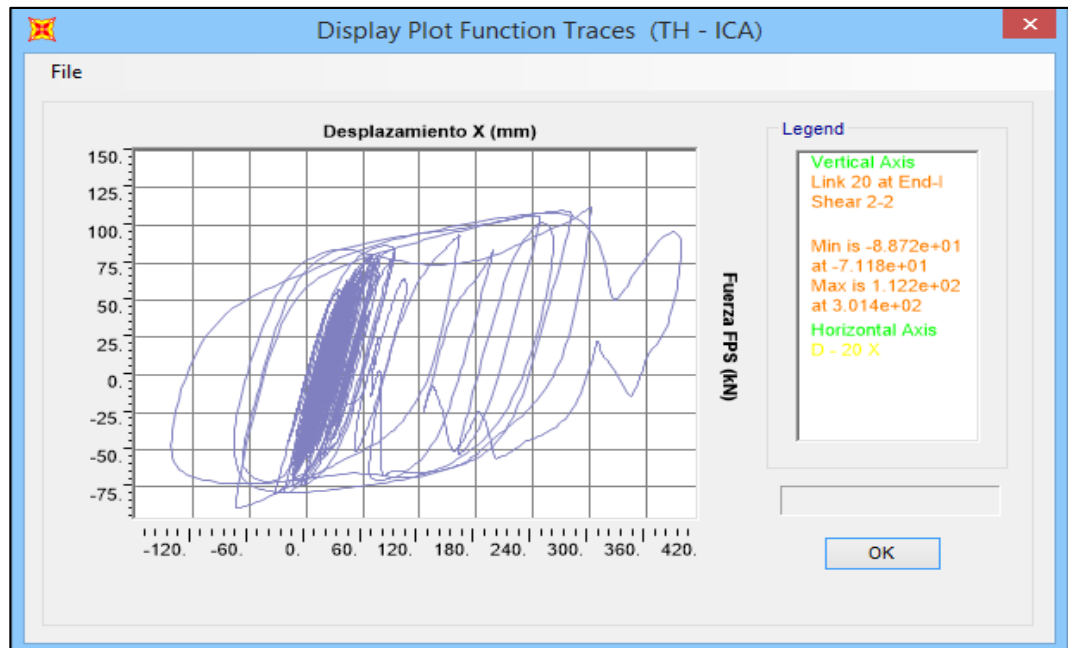
Fuente: Propia

Anexo N° 172 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 3” para Ica (2007)



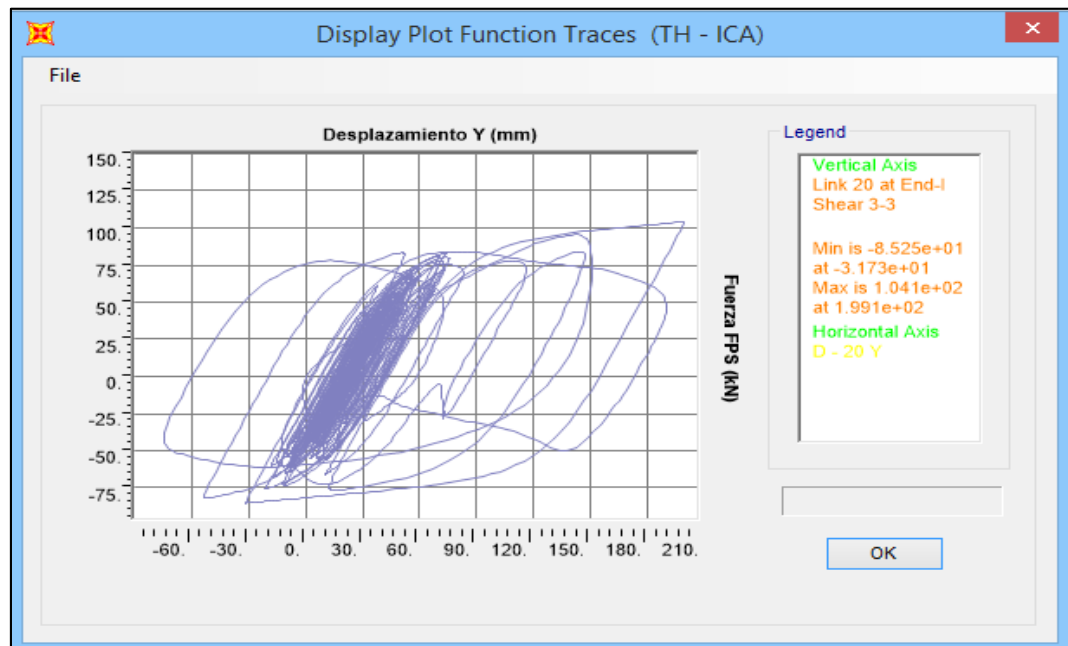
Fuente: Propia

Anexo N° 173 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 3” para Ica (2007)



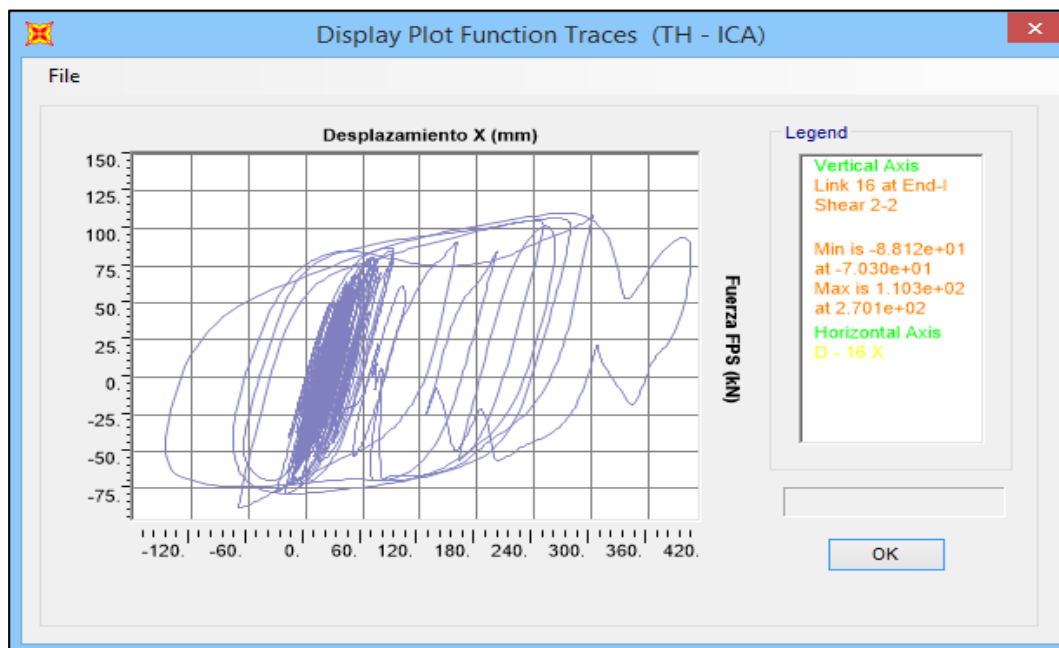
Fuente: Propia

Anexo N° 174 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 4” para Ica (2007)



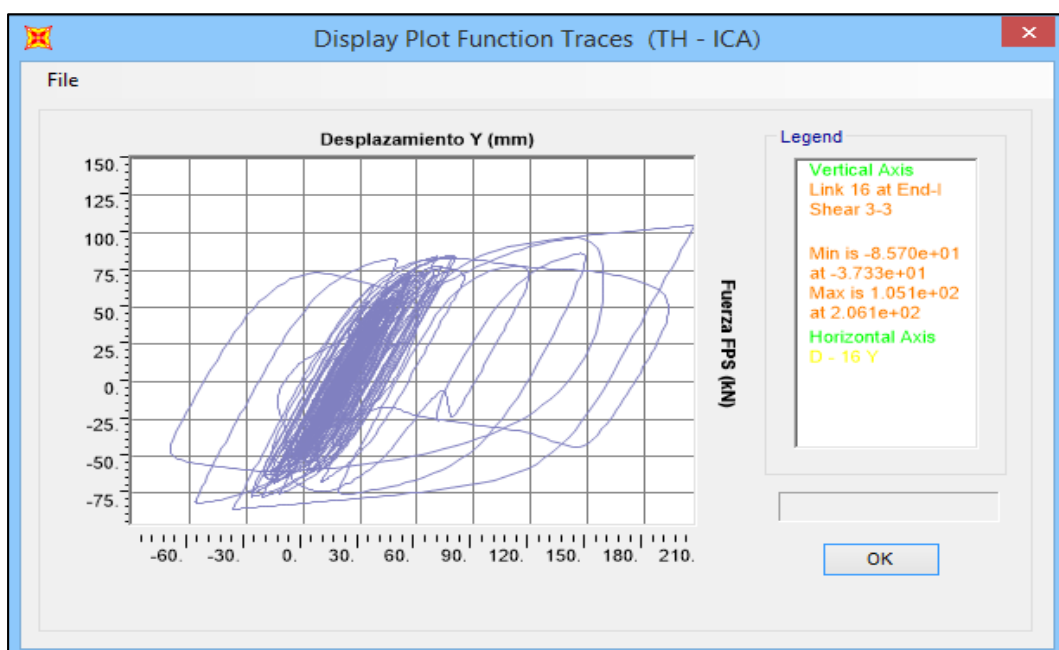
Fuente: Propia

Anexo N° 175 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 4” para Ica (2007)



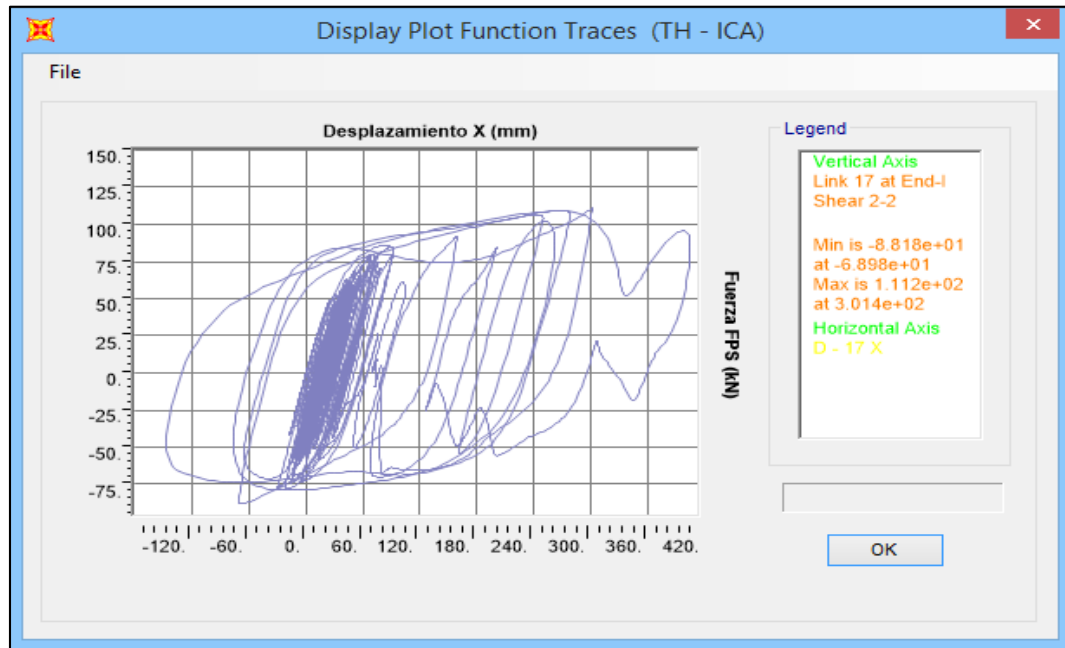
Fuente: Propia

Anexo N° 176 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 4” para Ica (2007)



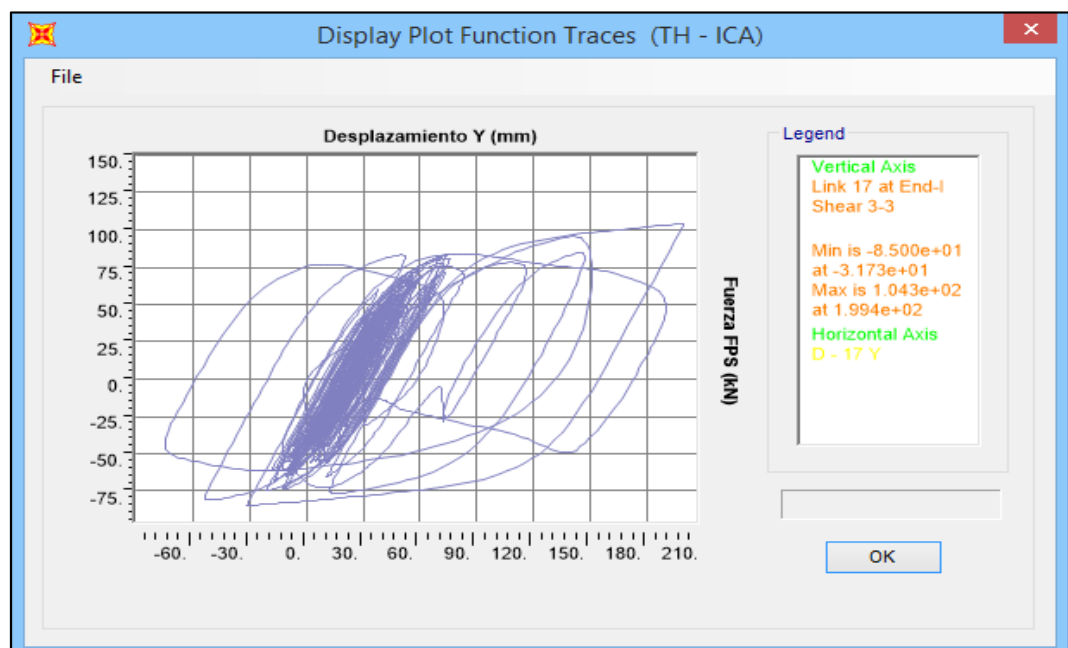
Fuente: Propia

Anexo N° 177 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 4” para Ica (2007)



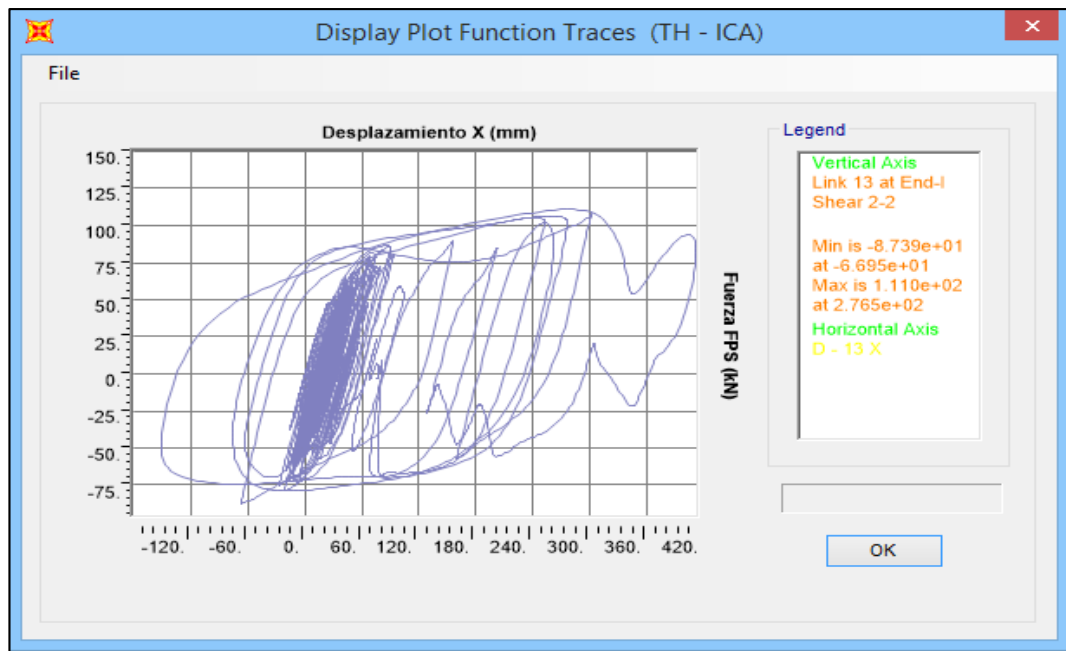
Fuente: Propia

Anexo N° 178 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 4” para Ica (2007)



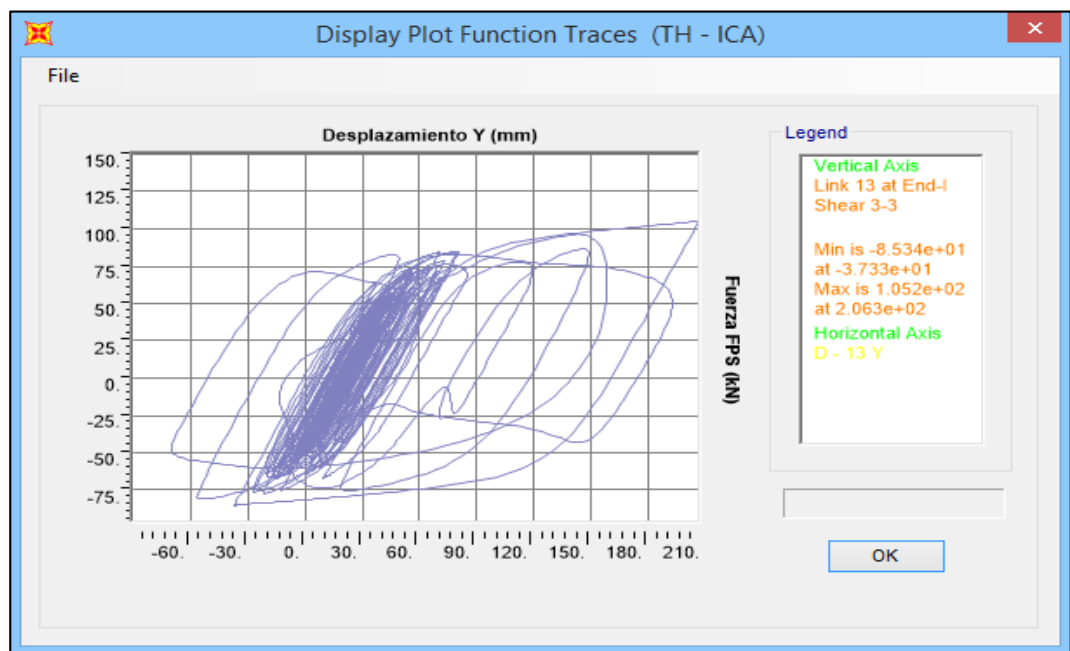
Fuente: Propia

Anexo N° 179 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 5” para Ica (2007)



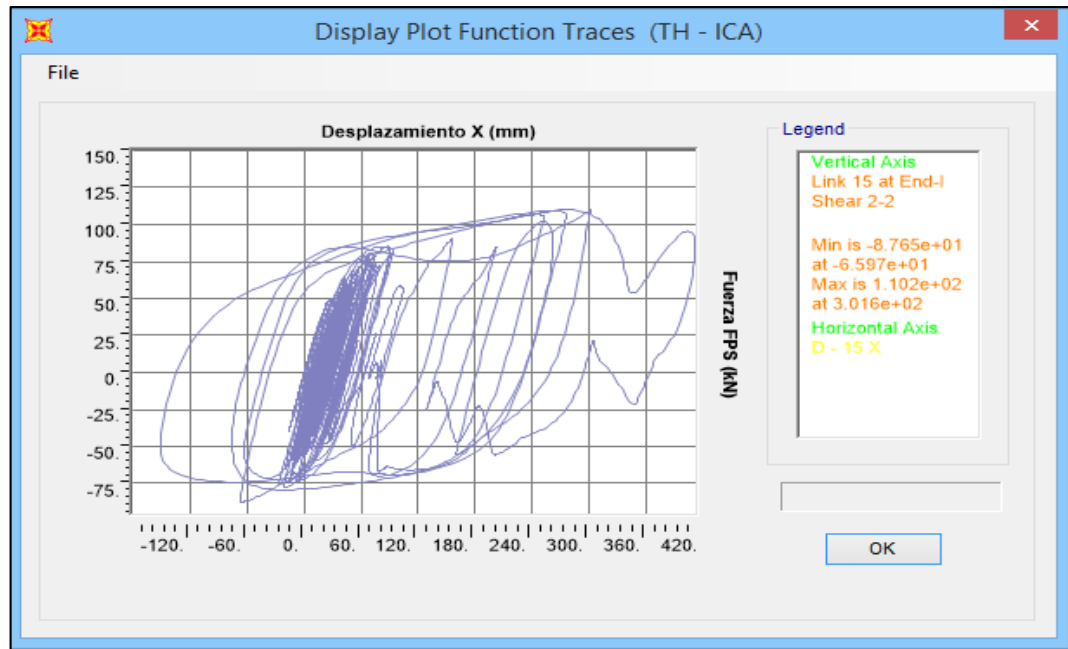
Fuente: Propia

Anexo N° 180 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 5” para Ica (2007)



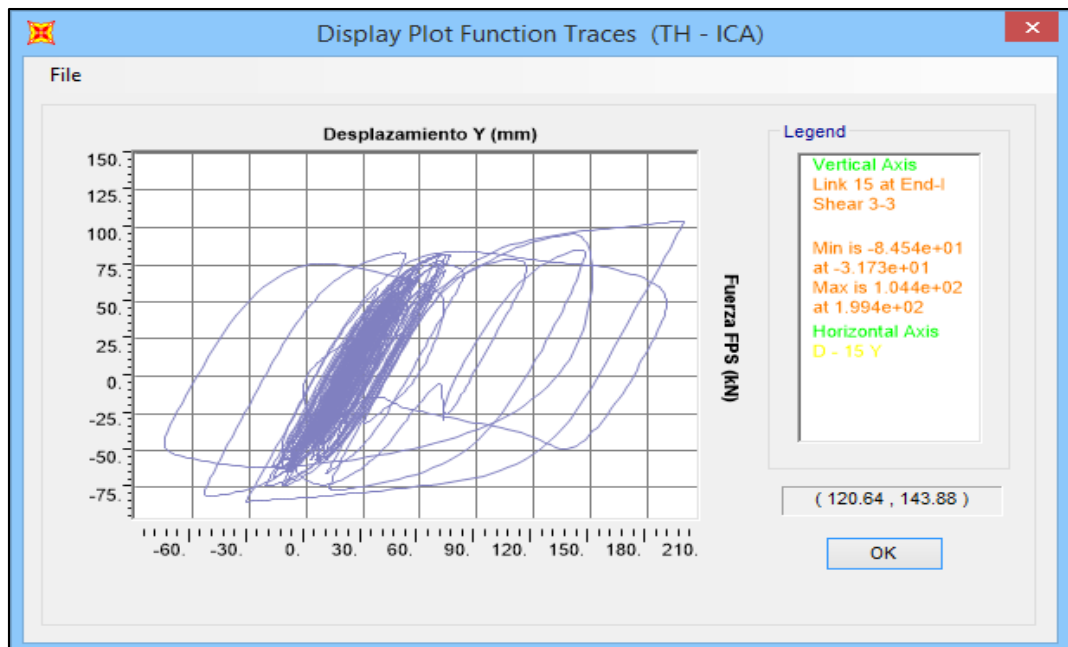
Fuente: Propia

Anexo N° 181 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 5” para Ica (2007)



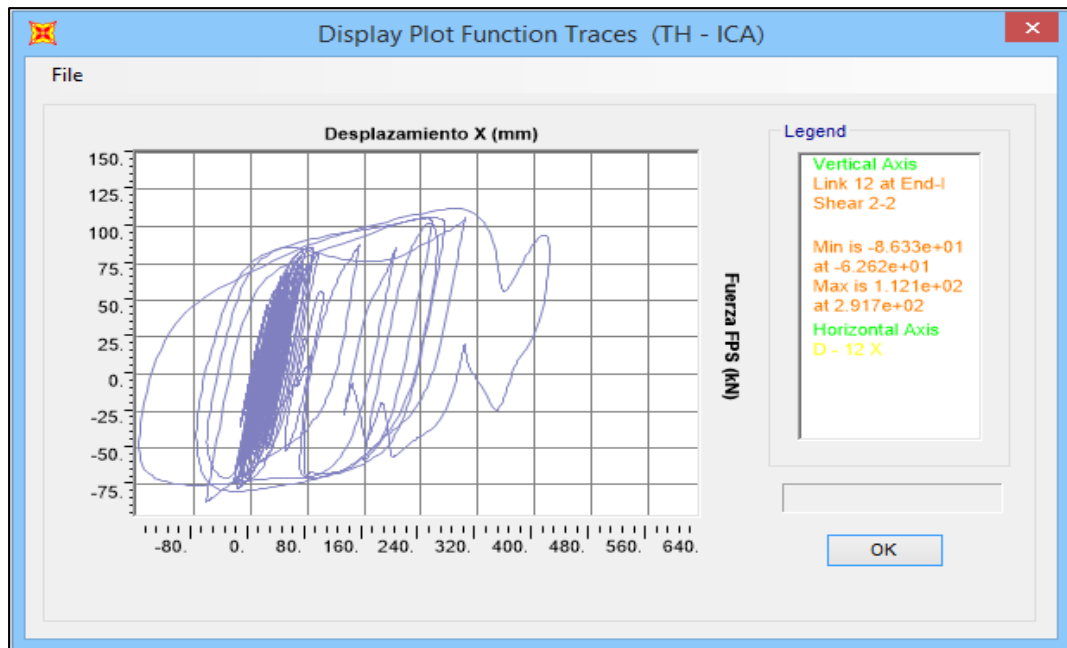
Fuente: Propia

Anexo N° 182 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 5” para Ica (2007)



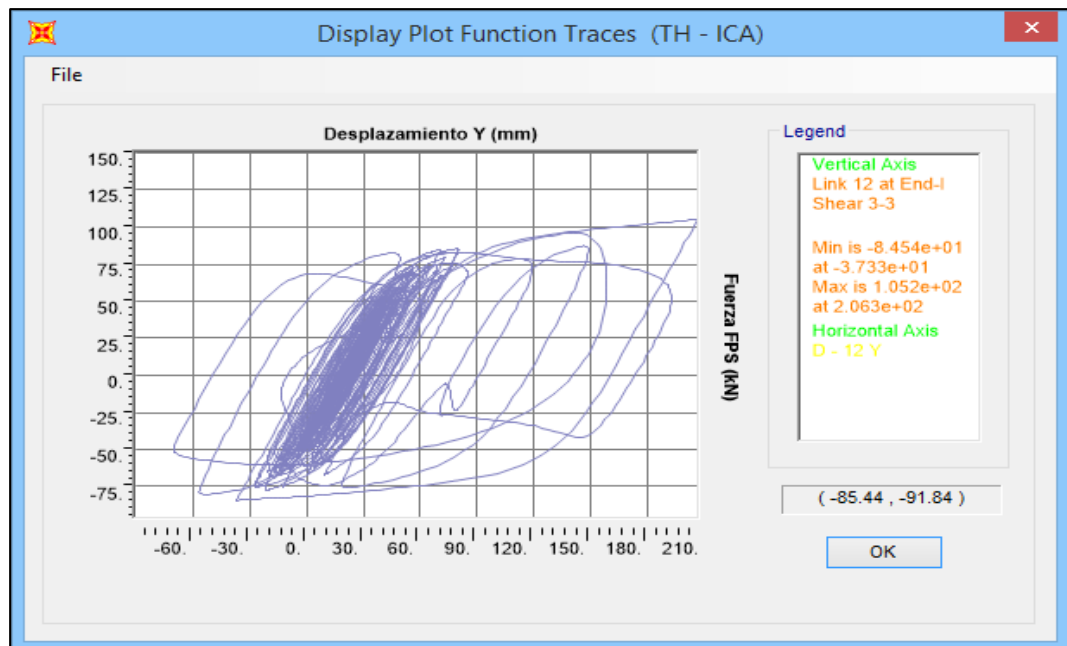
Fuente: Propia

Anexo N° 183 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 6” para Ica (2007)



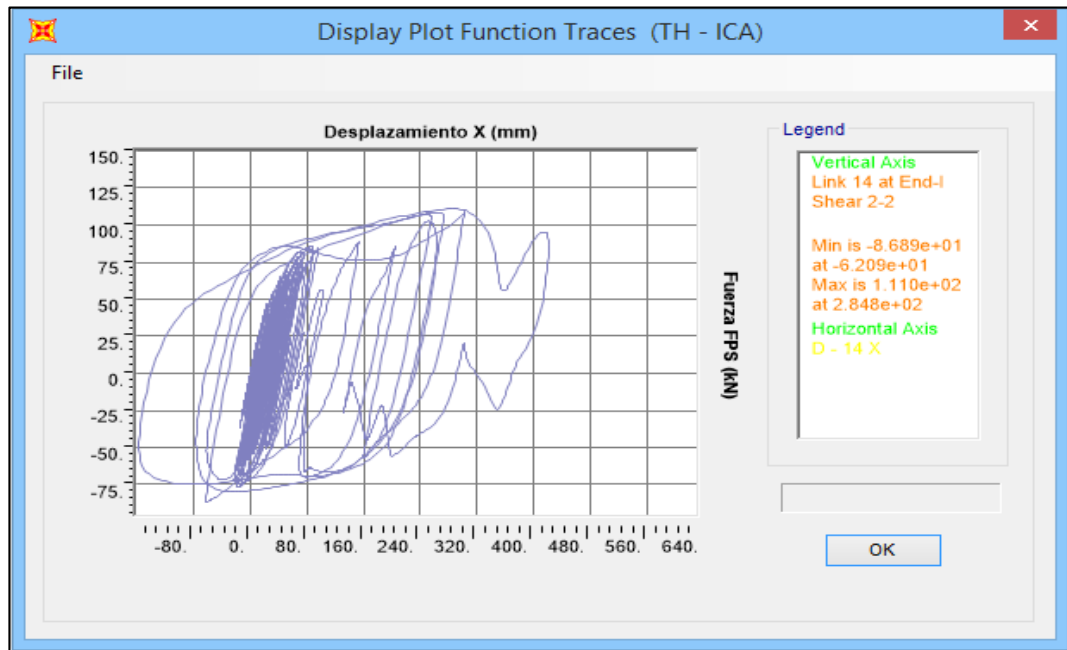
Fuente: Propia

Anexo N° 184 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 6” para Ica (2007)



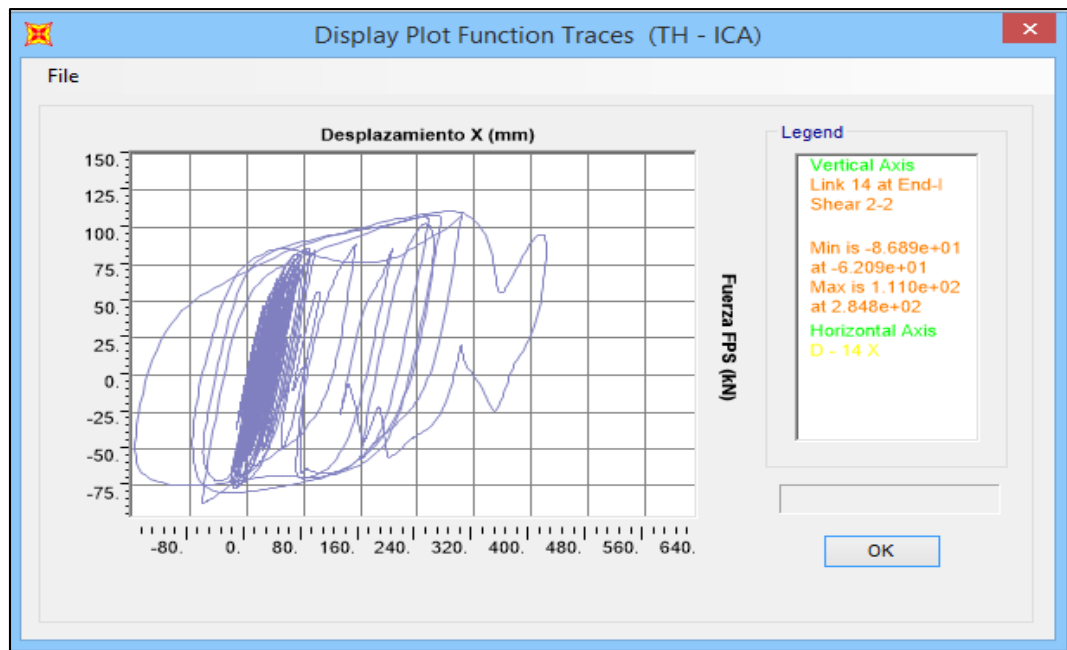
Fuente: Propia

Anexo N° 185 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 6” para Ica (2007)



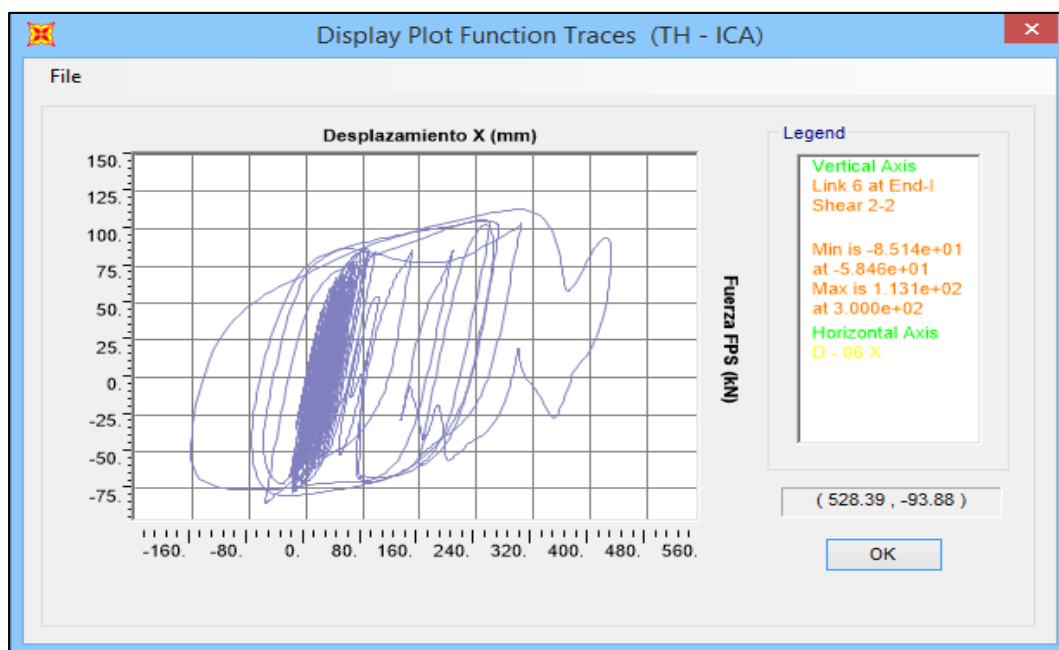
Fuente: Propia

Anexo N° 186 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 6” para Ica (2007)



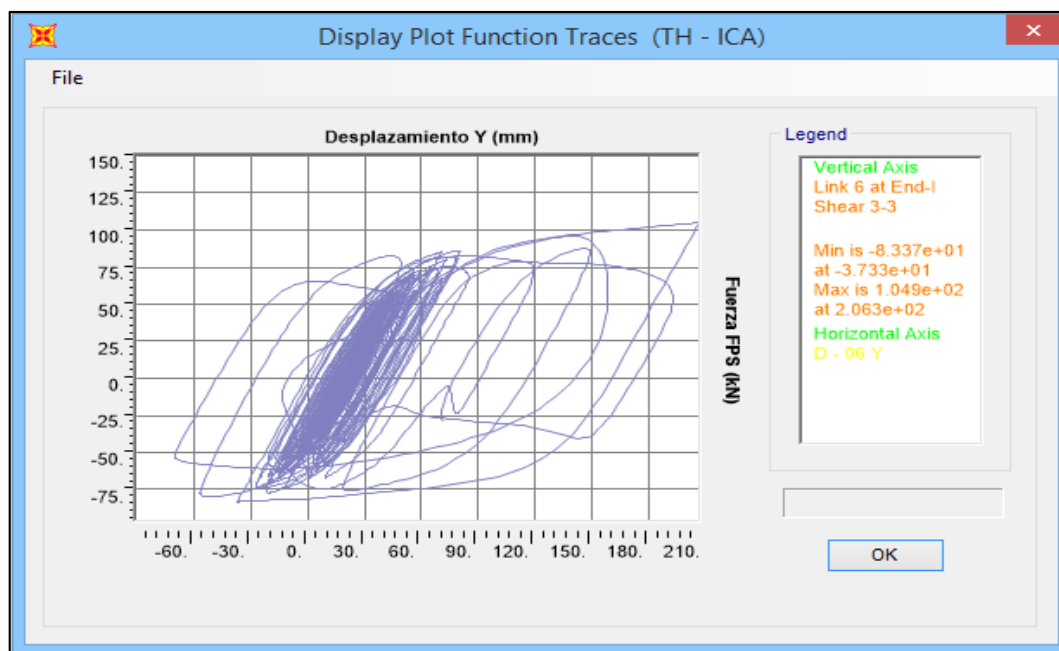
Fuente: Propia

Anexo N° 187 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “A – 7” para Ica (2007)



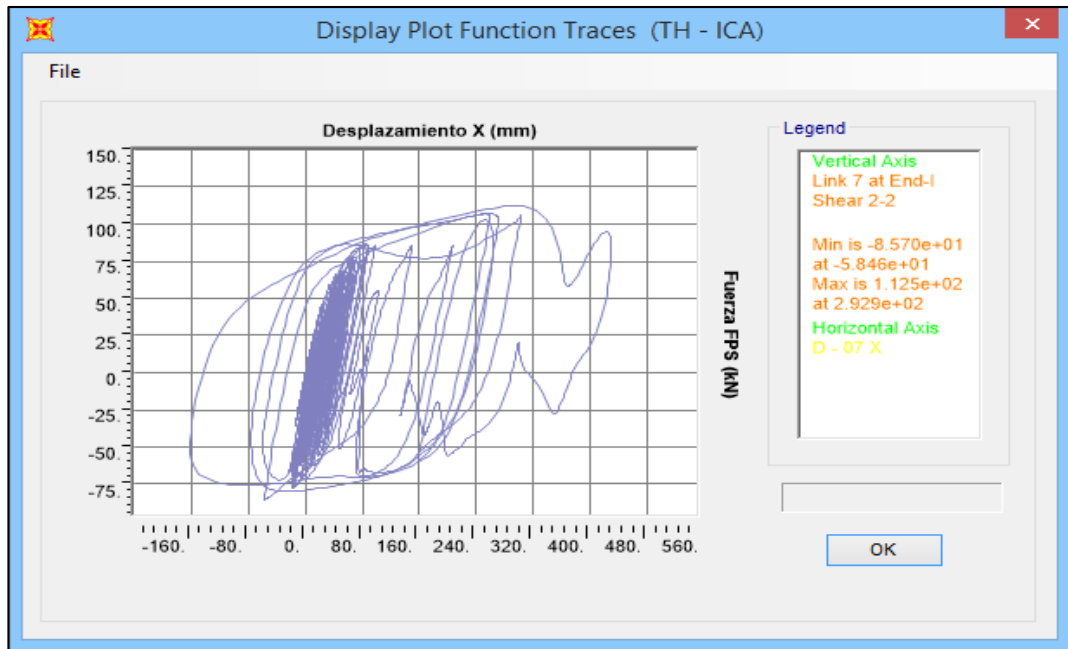
Fuente: Propia

Anexo N° 188 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “A – 7” para Ica (2007)



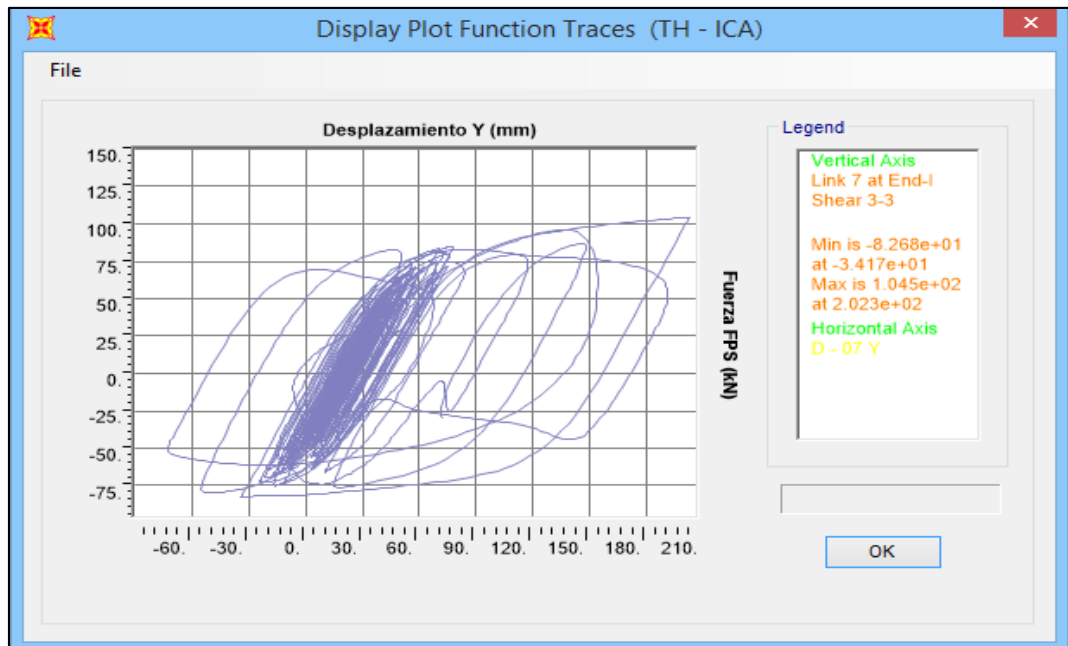
Fuente: Propia

Anexo N° 189 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “B – 7” para Ica (2007)



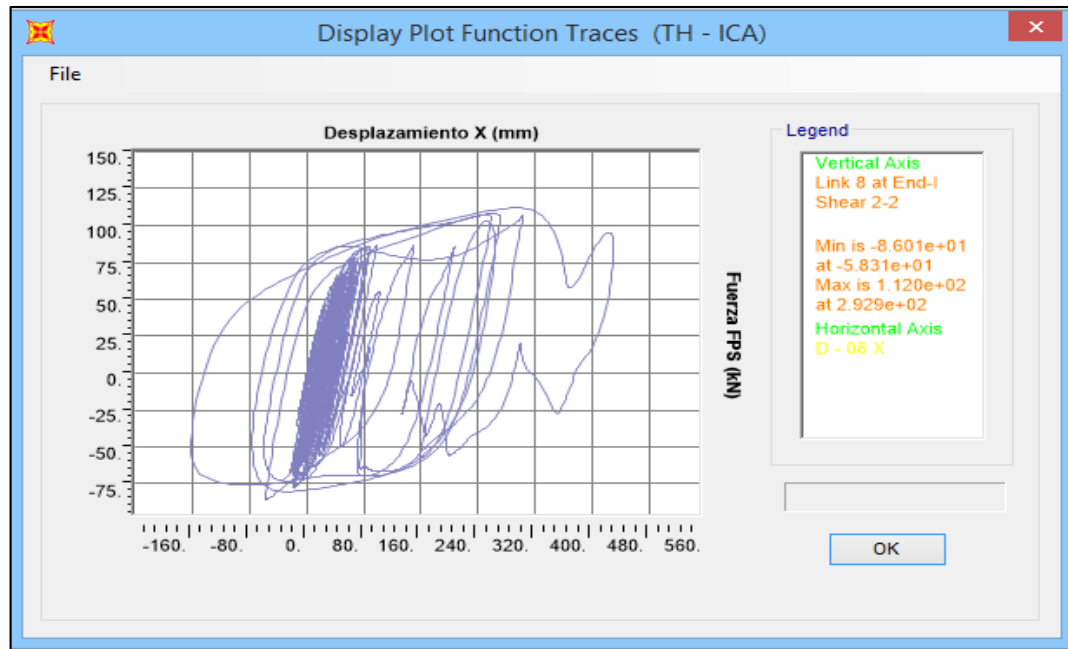
Fuente: Propia

Anexo N° 190 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “B – 7” para Ica (2007)



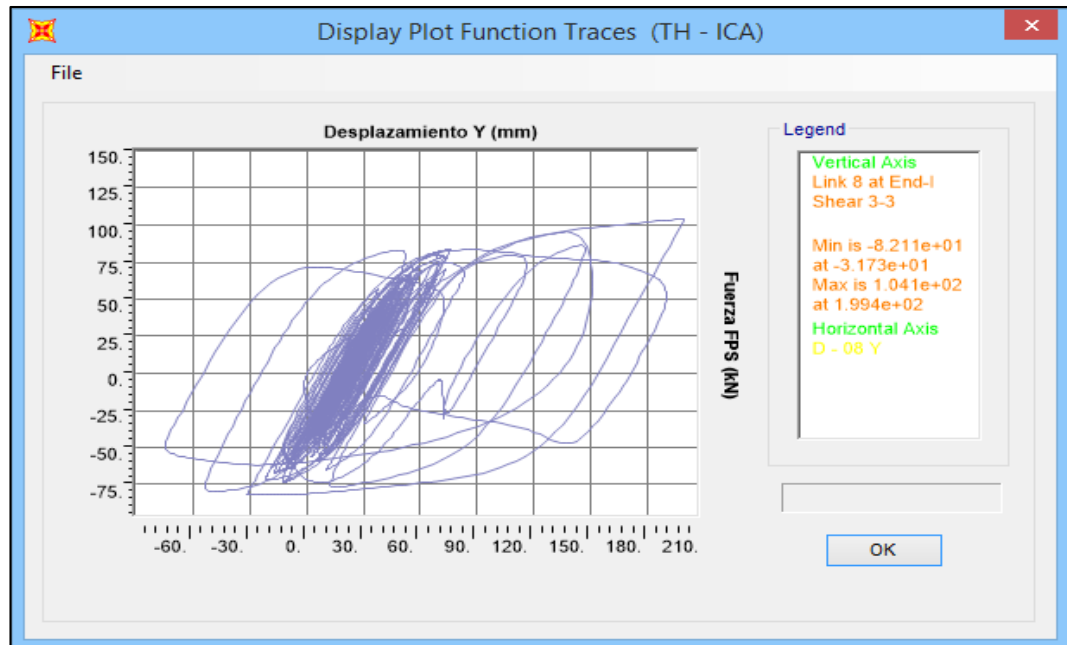
Fuente: Propia

Anexo N° 191 – Desplazamientos sentido X de FIP - D 510/200 en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia

Anexo N° 192 – Desplazamientos sentido Y de FIP - D 510/200 en EJE “C – 7” para Ica (2007)



Fuente: Propia